

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-094245

(43)Date of publication of application : 10.04.1998

(51)Int.Cl.

H02M 3/00
H02M 3/28

(21)Application number : 09-137396

(71)Applicant : VLT CORP

(22)Date of filing : 21.04.1997

(72)Inventor : MONTMINY STEVEN N
SHAFFER BRIAN J
VINCIARELLI PATRIZIO

(30)Priority

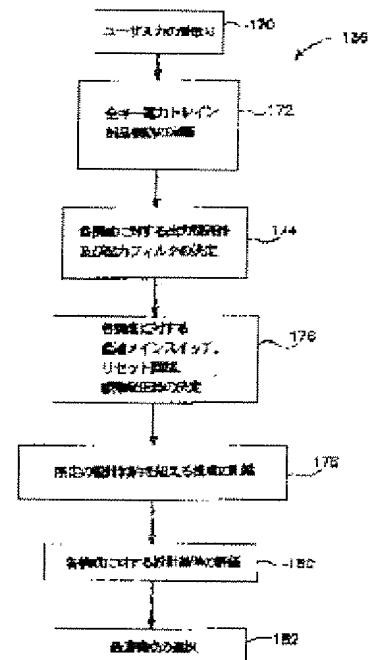
Priority number : 96 635026 Priority date : 19.04.1996 Priority country : US

(54) MANUFACTURE OF POWER CONVERTER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a converter configuration optimized in accordance with functional requirements and physical requirements when a preconfigured converter model is offered.

SOLUTION: A converter generator 136 is a rule-based system, which references a database of all power converter components and generates an optimum configuration that meets requirements. At this time any configuration that does not meet specified restrictions on design, for example, a configuration wherein the maximum rated power of the individual components, is discarded. Selection is made using design criteria, including conversion factor, fault tolerance, cost and lead time, and with weight defined by the user. When a configuration has been selected, the converter generator creates a bill of materials(BOM), assigns part numbers, and settles the cost and date of delivery. Based on the information the user inputs part numbers and quantities. This information is used again in a material requirements planning(MRP) system or an automatic sales ordering planning system(AOSS).



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]	11.05.1998
[Date of sending the examiner's decision of rejection]	26.09.2000
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]	
[Date of final disposal for application]	
[Patent number]	
[Date of registration]	
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]	2000-020523
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]	26.12.2000
[Date of extinction of right]	

【外国語明細書】

PATENT

ATTORNEY DOCKET NO: 00614/069JP1

CONFIGURING POWER CONVERTERSBackground

5 This invention relates to configuring power
converters.

Typically, a series of predetermined power
converter configurations are supplied by power converter
manufacturers. Several manufacturers, for example, Vicor
10 Corporation[™], provide an automatic selection system which
compares user specified power converter functional
requirements (e.g., input and output voltage and output
power) and physical requirements (e.g., number of pins
and package size) to the functionality offered by a
15 variety of preconfigured models (e.g., a power converter
'configuration' is a predefined combination of component
parts which results in a converter which meets a
predefined set of functional and physical requirements)
of converters and selects a preconfigured model, or
20 combination of preconfigured models, that meet the user's
needs. If the user's needs cannot be met, the user is
informed and requested to change his requirements.

If a customer needs a power converter with
particular requirements that cannot be met by a
25 preconfigured model within the manufacturer's product
line, then a power converter designer, using basic
equations and experience, may be asked to design a power
converter configuration that meets the customer's needs.
In general, a particular set of functional and physical
30 requirements may be met with many different power
converter configurations. As a result, two designers
with the same customer information may come up with
different power converter configurations. Designers
generally use rules of thumb and experience to try to
35 achieve good overall performance (e.g., high conversion
efficiency). However, due to time and resource

- 2 -

constraints, a designer can only try a limited number of different configurations.

General Electric Corporation[™] has offered prepackaged modular building blocks for configuring
5 switching power supplies. Each building block (e.g., rectifier block, switch block, output filter block) forms a portion of a switching power supply and each is available in various voltage and current ratings to allow configuring supplies of varying input voltage, output
10 voltage, and power ratings. A microcomputer-based software package aids the user in selecting those building blocks which, when connected together, will result in a power supply which meets the user's functional requirements. The software selects those pre-
15 defined blocks which will result in a certain combination of input voltage, output voltage, and power level.

There is a large body of literature regarding mathematical methods for optimizing active or passive circuit performance. In general, these methods rely on
20 having objective sets of functions which describe the circuit, or suitably accurate models, and then using mathematical minimization and maximization methods (e.g., least-squares, gradient-projection, steepest descent) to find a single, theoretically optimal, solution which
25 achieves some circuit performance objective, or objectives, subject to constraints. In some cases, the optimization method is linked with a circuit simulator, such as SPICE. See, for example, Lu and Adachi, "A Parameter Optimization Method for Electronic Circuit
30 Design Using Stochastic Model Function," Electronics and Communications in Japan, Part 3, Vol. 75, No. 4, 1992, pp. 13-25; Nye, et al, "DELIGHT.SPICE: An Optimization-Based System for the Design of Integrated Circuits," IEEE Transactions on Computer-Aided Design,
35 Vol. 7, No. 4, April 1988, pp. 501-519; Ivanov, et al,

- 3 -

"Computer-Aided Optimization of the Parameters of Electronic Circuits," Telecommunications and Radio Engineering, Part 2 (Radio Engineering), Vol. 26, No. 11, Nov. 1971, pp. 124-128.

5 Linear Technology Corporation, Milpitas, CA, USA, offers a software based power supply design program called SwitcherCAD; National Semiconductor Corporation, Santa Clara, CA, USA, offers a software based power supply design program called Simple Switcher. Both
10 programs accept a set of predefined functional specifications and generate parts lists and schematics for a power supply which meets the specifications. Both can produce designs for different topologies (e.g., isolated flyback, non-isolated PWM buck). The user of the
15 programs can modify component values and other design parameters and observe the effects on performance, e.g., conversion efficiency. Both programs use pre-defined equations for generating a solution.

Summary

20 In general, in one aspect, the invention features a method for use in determining a power converter configuration including receiving power converter operating characteristic information, and, in a computer, determining alternative power converter configurations
25 that are consistent with the operating characteristic information. The method also includes, in the computer, selecting one of the alternative power converter configurations that tends to have optimal efficiency.

 Implementations of the invention may include one
30 or more of the following features. Efficiency may be measured as power converter heat loss.

 In general, in another aspect, the invention features a method for use in determining a power converter configuration including receiving power
35 converter operating characteristic information, receiving

- 4 -

optimization criteria, and, in a computer, determining alternative power converter configurations that are consistent with the operating characteristic information and selecting one of the alternative power converter configurations that tends to be optimal with respect to the optimization criteria.

Implementations of the invention may include one or more of the following features. Determining alternative power converter configurations may include calculating a combined heat loss for each alternative power converter configuration, and wherein selecting one of the power converter configurations may include selecting a configuration having the least combined heat loss. Determining alternative power converter configurations may further include evaluating the component interrelations for each alternative power converter configuration and/or determining performance metrics for each alternative power converter configuration based on a predetermined set of performance criteria. The performance criteria and the optimization criteria may be the same.

The method may further include storing the determined performance metrics, and/or accessing the stored determined performance metrics. Determining alternative power converter configurations may also include eliminating power converter configurations that are inconsistent with a predetermined design constraint, and the predetermined design constraint may be a power dissipation threshold. Determining alternative power converter configurations may include eliminating power converter configurations that are inconsistent with the received power converter operating characteristic information.

- 5 -

The optimization criteria may include efficiency, reliability, lead time, conducted noise, or cost, and the optimization criteria may include at least two criteria.

In general, in another aspect, the invention
5 features a method for use in determining a power converter configuration including determining alternative power converter configurations that are consistent with operating characteristic information, calculating a combined heat loss for each of the alternative power
10 converter configurations, and selecting one of the alternative power converter configurations that tends to minimize the combined heat loss.

Implementations of the invention may include one or more of the following features. The method may
15 further include receiving the operating characteristic information from a user.

In general, in another aspect, the invention features a method for use in determining a power converter configuration including receiving power
20 converter operating characteristic information, receiving selection criteria, and, in a computer, determining alternative power converter configurations that are consistent with the operating characteristic information and selecting one of the alternative power converter
25 configurations in response to the selection criteria.

Implementations of the invention may include one or more of the following features. Determining alternative power converter configurations may include selecting power converter components from an inventory of
30 available components having a range of parameter values, and the range may comprise two parameter values. The power converter components may include a number of primary turns on a transformer and/or a number of secondary turns on a transformer. The power converter
35 components may include a resonant capacitor, a

- 6 -

transformer having a core shield pattern, output rectifiers, output filter components, input filter components, main switches, drive transformers, and/or reset circuit components. The selection criteria may
5 include efficiency, reliability, lead time, conducted noise, or cost, and the method may further include receiving another selection criteria, wherein the power converter configuration is selected in accordance with both selection criteria.

10 Determining alternative power converter configurations may include determining performance metrics for each alternative power converter configuration based on a predetermined set of performance criteria, and the performance criteria and the selection
15 criteria may be the same. The method may further include storing the determined performance metrics and accessing the stored determined performance metrics. The method may also include generating a bill of materials for the selected one of the alternative power converter
20 configurations, determining power converter configurations that are consistent with previously received operating characteristic information and are functionally fully backwards compatible with power converters delivered earlier in time, and/or providing a
25 user interface to the computer, wherein the operating characteristic information is received through the user interface. The user may be a customer or a power converter designer.

 In general, in another aspect, the invention
30 features a method of supplying a power converter including receiving, at a first party, operating characteristic information about a power converter from a second party, and, in a computer, determining a power converter configuration that is consistent with the
35 operating characteristic information and tends to

- 7 -

optimize the power converter based on optimization criteria and providing specifications for the determined power converter configuration.

Implementations of the invention may include one
5 or more of the following features. The method may further include receiving, at the first party, the optimization criteria from the second party or generating a bill of materials for the determined power converter configuration. The method may also include sending
10 electronically the bill of materials to a computer integrated manufacturing line and building the determined power converter configuration at a computer integrated manufacturing facility. The method may include providing the specifications for the determined power converter
15 configuration to the second party, and the specifications may include availability information and/or cost for the determined power converter configuration.

The computer may be at a site local to the first party and wherein receiving, at the first party,
20 operating characteristic information about a power converter from the second party may include accessing a user interface of the computer from a site at the second party that is remote to the site local to the first party.

25 In general, in another aspect, the invention features a system for use in determining a power converter configuration including a program for determining a power converter configuration that is consistent with operating characteristics and tends to
30 optimize the power converter configuration based on optimization criteria, and a user interface, coupled to the program, that receives the power converter operating characteristics.

Implementations of the invention may include one
35 or more of the following features. The user interface

- 8 -

may also receive the optimization criteria. The system may also include a computer for executing the program.

In general, in another aspect, the invention features a method for use in determining a power
5 converter configuration including receiving, at a first party, functional operating characteristic information about a power converter and optimization criteria from a second party, and, in a computer, accessing a power
10 converter generator that determines power converter configurations that meet the functional operating characteristic information and which determines and stores information about each configuration with respect to the optimization criteria. The method also includes in the computer selecting one of the determined power
15 converter configurations that tends to optimize the power converter configuration based on the optimization criteria, providing specifications for the selected power converter configuration to the second party, receiving, at the first party, approval of the selected power
20 converter configuration from the second party, and delivering fabrication information for the selected power converter configuration to a manufacturing facility.

Implementations of the invention may include one or more of the following features. The method may also
25 include initiating an electrical connection between the first party and the second party, and sending the operating characteristic information and the optimization criteria from the second party to the first party via the electrical connection. The method may include building a
30 power converter from the fabrication information, and shipping the power converter to the second party. Before receiving approval, the method may further include receiving, at the first party, different operating characteristic information from the second party, and, in
35 the computer, determining another power converter

- 9 -

configuration that is consistent with the different
operating characteristic information and tends to
optimize the another power converter configuration's
based on the optimization criteria and providing the
5 specifications for the determined another power converter
configuration to the second party. Before receiving
approval, the method may also include receiving, at the
first party, different optimization criteria from the
second party, and, in the computer, determining another
10 power converter configuration that is consistent with the
operating characteristic information and tends to
optimize the another power converter configuration based
on the different optimization criteria, and providing the
specifications for the determined another power converter
15 configuration to the second party.

Advantages of the invention may include one or
more of the following. After a user specifies functional
and physical requirements (e.g., input and output voltage
ratings; power level) and selection criteria (e.g.,
20 efficiency, reliability, and cost), a power converter
design and bill of materials (BOM) generator ("converter
generator") provides the user with a power converter
configuration that meets the user's needs and is
optimized with respect to the specified selection
25 criteria. The converter generator consistently provides
the user with an optimal power converter configuration by
generating power converter configurations that meet
particular design constraints and component availability
limits and by selecting the configuration that is optimal
30 with respect to the user specified selection criteria.
The user may interactively receive configuration feedback
information by specifying new selection criteria and/or
functional and physical requirements and analyzing the
new optimal configuration provided by the converter
35 generator. The performance metrics calculated for each

- 10 -

configuration generated by the converter generator, with respect to several different design criteria, such as efficiency or conducted noise levels, can be made available for use in other applications. The converter generator provides the user with power converter configurations in "real-time", and through access to component availability and manufacturing scheduling data, the converter generator provides the user with accurate configuration availability dates (i.e., time to ship).

10 An existing customer may place several orders for a given power converter part number over a period of time. During this time period the converter generator may change, either to provide improved performance or due to modifications in the complement of parts from which
15 converters may be configured. By storing appropriate information about the operating characteristics of the converter first configured for the customer, the converter generator is able to consistently deliver units which are backward compatible with units delivered
20 earlier in time.

After receiving a user's approval of a particular optimized power converter configuration, a bill of materials (BOM) is automatically generated. The BOM is then electronically sent to a computer integrated
25 manufacturing (CIM) site where it is used to select a manufacturing line and control the building of the approved power converter configuration.

Other advantages and features will become apparent from the following description, and from the claims.

30 Description

Figs. 1 and 2 are a perspective exploded view and a block diagram, respectively, of a power converter.

Figs. 3a - 3c are block diagrams of a power converter manufacturing line.

- 11 -

Fig. 4 is a block diagram of a computer integrated manufacturing system.

Figs. 5 and 6 are computer screen displays.

Fig. 7 is a flow chart showing the operation of
5 the converter design and BOM generator of Fig. 4.

Fig. 8 is a circuit diagram of the power converter of Figs. 1 and 2.

Figs. 9a-9d are a flow chart of the operation of the converter design and BOM generator of Fig. 4.

10 Figs. 10a-10b are portions of a matrix of possible power converter configurations.

Fig. 11 is a schematic diagram of a pulse-width-modulated forward converter.

Power Converter Design

15 An exploded view of a modular DC-DC power converter is shown in Figure 1. Converters of this type, which typically provide a single output voltage in a relatively small, high density package, are frequently applied in both 'distributed power' applications and, in
20 combination with other converters of similar construction and other accessory products and components, to create application-specific customized centralized power systems. This 'power component' approach to power system design offers great flexibility, fast time-to-market and
25 economy.

In general, there are many DC-DC converter circuit configurations (e.g., combinations of component parts) which will meet some predefined set of functional specifications (e.g., deliver a predefined amount of
30 output power (e.g., 300 Watts) at a predefined output voltage (e.g., 5 Volts) while operating over a predefined range of input voltage (e.g., from 180 VDC to 400 VDC)). Each different configuration, however, will differ with respect to certain performance metrics, such as
35 conversion efficiency, cost and reliability. An engineer

- 12 -

engaged in designing a converter will typically use some combination of knowledge, experience and analysis to try to find an initial solution which meets the predefined set of functional requirements. On the basis of tests or
5 simulations the initial design might be iterated a few times until it is deemed to be 'good enough.' This generally means that, in addition to meeting the predefined functional requirements, some set of performance metrics, such as a minimum value of
10 conversion efficiency or a maximum cost, have also been achieved. Given time and resource constraints and the complexities of circuit interactions, it is normally not feasible for engineers to seek 'optimal' solutions or to even be able to gauge how closely their solutions come to
15 being optimal with respect to one or more metrics, such as efficiency or cost.

Contemporary manufacturing methods, equipment and systems enable power converters to be manufactured in high volume on flexible, highly automated, manufacturing
20 lines. Through use of a common set of manufacturing equipment and processes a virtually unlimited number of power converter configurations may be manufactured, each configuration sharing a common construction and packaging scheme but differing from other configurations in terms
25 of its functional specifications (e.g., range of input operating voltage, output voltage, output power).

Thus, while contemporary manufacturing techniques offer the capability of producing a large variety of power converter configurations essentially in real-time,
30 methods for rapidly generating converter configurations which meet discretionary, and somewhat arbitrary, user-defined functional specifications, and which are also optimized with respect to one or more user-specified performance metrics, have not been available. Thus,
35 users have generally had to choose between accepting a

- 13 -

'pre-configured' converter model which most closely meets their needs or accepting the longer lead-times, non-recurring costs and uncertainties associated with having a manufacturer go through the process of
5 'customizing' a converter configuration to meet their unique functional specifications. In either case, there has been no means for ensuring that a configuration is optimized relative to specific performance metrics of importance to the user. It is therefore one object of
10 the invention to provide means for rapidly generating power converter configurations which meet a specific set of user-defined functional specifications (as opposed to requiring that the user accept the closest pre-configured model) and which is also optimized with respect to other
15 performance metrics, such as efficiency, cost, and/or reliability.

Refer to Appendix I, below, for a description of the operation and construction of one kind of modular power converter and a description of the manufacturing
20 processes and equipment used for its manufacture.

To satisfy a particular set of functional requirements, for example, output voltage, input voltage, operating range, output power, and maximum baseplate operating temperature (e.g., the temperature at which
25 thermal shutdown is controlled to occur), components are selected from an available range of values to create a converter configuration.

Complex component interrelations influence configuration-specific design metrics such as efficiency,
30 cost, lead time, and reliability. One configuration may be the most efficient, while another is the most reliable.

As an example of component interrelations, for a zero-current switching forward converter, a small ON time
35 for the main switch may lead to high peak resonant

- 14 -

current and harmonic losses, for example, transformer core losses, winding losses, and resonant capacitor losses. To reduce core losses (i.e., to increase efficiency), the ON time of the main switch may be
5 lengthened, and the peak resonant current reduced, by increasing the transformer's leakage inductance. This can be accomplished by increasing the number of primary and secondary turns while maintaining the original turns ratio constant. Although the winding losses may increase
10 due to the increased numbers of turns, the net effect may be a reduction in losses (i.e., an increase in efficiency) if the winding losses increase by less than the amount by which the other harmonic losses are decreased.

15 Referring to Fig. 4, a computer integrated manufacturing (CIM) system 130 generates power converter configurations which meet user specified functional requirements and which are optimized with respect to user specified design metrics. By optimization we do not mean
20 a mathematically or theoretically ideal circuit solution. Rather, we mean including the best available solution subject to certain limiting constraints. In generating converter configurations, for example, the limiting constraints include the set of production processes
25 available for fabricating the converters and the range of parts and part values which can be selected, or created during manufacture, for use in the converters. Thus, when we say "optimization" we include a method by which we first generate a set of configurations, subject to the
30 limiting constraints, which meet a predefined set of functional characteristics. We then sift through the generated set configurations to select the configuration, or configurations, which provide the best possible performance with respect to defined optimization
35 criterion or criteria. The system generates its output

- 15 -

in real time (e.g, the results are available in minutes or hours, as opposed to days or weeks), thereby eliminating the lead times associated with conventional engineering design processes.

5 Software running on a user's (client) computer 132 interfaces with software running on a design assistance computer (DAC, server) 134 and through an input screen 135 (Fig. 5) allows the user to input power converter functional requirements and criteria with respect to
10 selected design metrics. The user's inputs are passed to a converter design and bill of materials (BOM) generator program 136 (converter generator). Users may include customers, the converter manufacturer's sales representatives; marketing, applications, engineering,
15 and manufacturing personnel; and converter design engineers.

 The converter generator 136 is a rules and equation based system. Using a database of all available power converter components (e.g., all of the components
20 which are available to, or which may be created by, the manufacturing process), the converter generator generates power converter configurations that meet the user's functional requirements. In doing so, the generator discards configurations that cannot meet the functional
25 requirements or which do not meet predetermined design constraints. For example, the converter generator discards configurations that exceed a predefined maximum power dissipation threshold for each component. The converter generator also calculates each configuration's
30 design metrics, including efficiency, reliability, cost, and lead time, and selects the optimal configuration by comparing the metrics of each configuration to a set of weighted criteria defined by the user. For example, if a user specifies that conversion efficiency is the sole

- 16 -

design metric to be optimized, the converter generator selects the most efficient configuration.

The user may input new functional requirements and/or select different design metrics or a combination
5 of design metrics. For each input change, the converter generator generates all possible configurations, discards those that do not meet predetermined design constraints, and provides the user with a part number and a cost and delivery date corresponding to a configuration that is
10 most nearly optimal with respect to the user's selected design metrics. Changing the functional requirements and/or selected design metrics provides the user with interactive feedback on each converter design decision.

For instance, the user may input particular
15 functional requirements and select efficiency as the design metric for optimization, then change the selected design metric to reliability, and compare the cost and delivery dates corresponding to the two resulting configurations. Alternatively, the user might wish to
20 compare configurations which are optimized for conversion efficiency (e.g., the percentage of the power withdrawn from the input source and delivered to the load) and for power density (e.g., the maximum power rating of the converter divided by the volume occupied by the
25 converter) since these two metrics usually exhibit an inverse relationship (in part because higher density parts (e.g., smaller windings; smaller semiconductor die area or fewer die) exhibit relatively higher ohmic resistances which, in turn, dissipate more power as heat
30 under a given set of operating conditions).

Assume, for example, that a manufacturer offers three converter product families, each differing from the other in terms of package size and the maximum amount of power which can be delivered (e.g., at a power density of
35 80 Watts per cubic inch, a 'micro' package might deliver

- 17 -

up to 100 Watts; a 'mini' package might deliver up to 200 Watts; a 'maxi' package might deliver up to 400 Watts). If the customer were seeking a solution which delivers 200 Watts of power, the most efficient configuration
5 generated by the converter generator might involve two 'maxi' products, each delivering 100 Watts in a synchronized, power sharing, array (see, for example, U. S. Patents Nos. 4,648,020 and 5,079,686, incorporated by reference).

10 On the other hand, the highest power density configuration might be a single 'mini' product delivering the full 200 Watts. The 'maxi' solution would exhibit one-fourth of the power density of the 'mini' solution and cost more, but it would offer better conversion
15 efficiency. If the user also decided to investigate fault-tolerant solutions (e.g., an 'N+1' fault tolerant solution would be one in which a single point of failure - for example a single converter failure - would not interrupt operation of the power system at full rated
20 power) then the converter generator might present three different solutions depending on whether the user's main criteria involved efficiency, power density or cost. For example, the highest efficiency solution might involve three 'maxi' converters, each rated to deliver 100 Watts
25 in a fault-tolerant, synchronized, power sharing, array (see, e.g., U. S. Patent 5,079,686). The lowest cost solution might involve two 'mini' converters, each rated to deliver 200 Watts in a fault-tolerant, power-sharing, array. The highest power density solution might involve
30 three 'micro' converters, each rated to deliver 100 Watts in fault-tolerant, power-sharing, array. There are, of course, virtually an unlimited number of ways by which a user can investigate the interactive effects of selecting different design metrics, e.g., efficiency, power

- 18 -

density, cost, conducted noise, fault tolerance, or combinations of metrics, as criteria for optimization.

Since the converter generator produces a number of configurations which meet the user's functional requirements and calculates the performance of each configuration against several different design metrics, a variety of useful information can be made available from the converter generator for use in other applications. For example, converters of the kind shown in Figure 1 are almost always used in applications in which the amount of conducted noise generated by the converter is of importance. This is because most power systems must meet regulatory standards which set limits on conducted emissions (e.g., the amount of normal-mode and/or common-mode power, voltage or current reflected back onto the converter's input or output connections as a function of frequency). Since the internal physical arrangement of the converter is well-defined, the amount of normal-mode and common-mode interference present at both the input and output connections of the converter may be closely estimated (e.g., based upon the specific combination of components used; the operating frequency and frequency range; the ON and OFF times and parasitic impedances of the switching elements and rectifiers; the parasitic capacitances between components and parasitic inductances in major signal paths within the converter). Once calculated, this information can be used in a variety of ways.

Assume, for example, that a user has selected a configuration based upon optimal efficiency or power density. The information regarding the conducted noise performance of the converter can then be used, either by the user or by another automated design system, to design or select an input source filter which will allow meeting some pre-defined set of conducted interference

- 19 -

requirements. Alternatively, the user may wish to
examine tradeoffs with respect to overall system size and
efficiency (i.e., where the system consists of the
combination of the converter, or converters, and external
5 conducted interference filters and related utility source
interface circuitry). For example, the most efficient
converter might incorporate relatively small internal
input filter elements to minimize losses within those
elements. This, however, might tend to increase both the
10 physical size of, and power loss within, external noise
filtering elements. By trying various different
converter configurations the user (or a collateral
software system which designs or selects filters and
related circuit elements based upon the generated noise
15 and the desired system noise performance) could optimize
overall system size, power density or efficiency. In
general, information regarding how different
configurations perform with respect to various design
metrics may be used by users, or by computer-based
20 automated systems, in performing related system design or
optimization tasks.

Once a configuration is selected, the converter
generator generates a bill of material (BOM), assigns it
a part number, and determines a cost and a delivery date.
25 The part number, cost and delivery date are sent to the
user via the DAC interface and are also stored along with
the user's functional requirements. To place an order
within some predefined period of time (e.g., 60 days),
the user inputs the part number and the quantity of
30 converters to be delivered; the stored information is
retrieved and a BOM is re-generated and sent to a
materials requirement planning (MRP) system 138. The MRP
system generates a quote corresponding to the part number
and logs the quote in a quote queue 140. This
35 information is passed to the order administrator 142.

- 20 -

The order administrator generates an order from the corresponding quote in the quote queue, deletes the quote, logs the order in an order log 144, and notifies an automatic sales order scheduling system 146 (AOSS).

- 5 The AOSS has access to manufacturing line schedules and capacity, component availability (in stock and on order), the order queue, and the BOM associated with the current order. The AOSS generates a final delivery date, enters the order in the manufacturing line schedule, and sends
10 the delivery date to the user through the DAC interface. The order administrator may mark an order as a priority order to cause the AOSS to schedule the order to be built during the current day.

- A software system called a multi-cell programmer
15 148 (MCP) is notified of orders scheduled to be built during each day. The MCP verifies the completeness and consistency of all engineering and manufacturing data required to build each order. As an example of engineering data, placement coordinates for all surface
20 mount components must be defined in the engineering database for the PCB upon which the component will be placed. As an example of manufacturing data, the MCP verifies that all surface mount components placed at a specific pick and place location are loaded in the
25 component magazines of the equipment which will do the placement. If any exception conditions exist that prevent the order from being built, such as missing data or incorrect line set up, then the MCP indicates that the order cannot be built and places the order on hold until
30 the exception condition is corrected.

- The MCP sends the order status to a supervisory control system (SCS) 150. The SCS may include a video display screen on which the list of orders 154 (Fig. 6), and the status of the orders, is displayed for an
35 operator. If missing components, or non-availability of

- 21 -

certain workcells, prevent certain orders from being built, their status will be designated as non-buildable by the SCS. When necessary components or workcells are subsequently made available, the MCP will change the
5 order's status from non-buildable to buildable.

When the MCP verifies that an order is buildable, it generates an assembly instruction file for the order, which is then considered an eligible candidate for initiating the manufacture of the product on the line
10 (dispatching). The assembly instruction file includes the BOM, module specifications, printed circuit board component placement coordinates, component test specifications, and sub-assembly graphics. Manufacturing line 70 then uses the assembly instruction file to build
15 the corresponding order.

Once a customer's first order for a particular part number is manufactured, certain key functional parameters associated with the configuration are associated with the converter part number and stored for
20 later use. This is done because a particular customer may place several orders for a given power converter model (e.g., part number) over a long period of time. During this time period the converter generator may change, either to provide improved performance or due to
25 modifications in the complement of parts from which converters may be configured (e.g., certain parts may be replaced by others due, for example, to parts improvements or obsolescence). By storing appropriate information about the operating characteristics of the
30 converter first configured for the customer (e.g., for a zero-current switching converter, the transformer turns ratio, the value of the secondary-reflected leakage inductance and the value of the resonant capacitance), the converter generator is able to consistently deliver

- 22 -

units which are functionally fully backwards compatible with units delivered earlier in time.

Converter Design and BOM Generator

Referring to Fig. 7, the converter design and BOM generator (converter generator) 136 (Fig. 4) receives (step 170) a user's inputs, including functional requirements and selected design metrics, from the DAC interface. The functional requirements include input voltage range, output voltage, output power, and maximum baseplate operating temperature, while the selectable design metrics include efficiency, cost, lead time, and reliability. Using the functional requirements, the converter generator generates (step 172) all possible key power train component configurations. The key power train components include the number of primary (N_p) and secondary (N_s) turns of a transformer T1 24 (Fig. 8), the secondary-reflected leakage inductance (L_{lk_s}) (referred to as the 'leakage inductance'), and resonant capacitance (C_r). Inductor 162 (L_{LK_S}) represents the leakage inductance of T1. The turns ratio (N_p 26/ N_s 28) is a function of the input and output voltages; the leakage inductance is a function of the number of secondary turns; and the resonant capacitance is a function of the turns ratio, output power, and leakage inductance.

The converter generator then determines (step 174) the output rectifiers (D_{FWD} 32 and D_{FW} 34) and output filter (L_{out} 40 and C_{out} 42) required for each configuration of key power train components. Selection of the components in a reset circuit 22; a drive transformer T_D 20; and a main switch Q1 18; and the allowable value of the magnetizing inductance of transformer, T1, are strongly interdependent. As a result, for each configuration, the converter generator generates (step 176) and evaluates all possible (and operative) combinations of the above components,

- 23 -

determines which combination dissipates the least amount of power (i.e., optimal efficiency), and adds that combination to the configuration.

The converter generator discards (step 178) power
5 converter configurations that exceed predetermined design constraints. For example, configurations in which any component dissipates power in excess of a predetermined power dissipation threshold are discarded. The maximum power dissipation threshold for each component is a
10 function of the component ratings, the component and system thermal impedances and the maximum baseplate temperature rating for the converter. The converter generator then evaluates (step 180) the design metrics for each configuration, and selects the most nearly
15 optimal configuration by comparing the metrics for each configuration to a set of weighted criteria defined by the user.

Referring to Figs. 9a-9d, after receiving (step 170) a user's inputs, the converter generator defines
20 (step 172) all possible key power train component configurations 190 (a portion of which are shown in Figs. 10a-10b) by first determining (step 192) all possible combinations of primary and secondary windings on transformer T1. The converter generator begins by
25 determining (step 194) the number of primary turns (N_p , column 196) with respect to the input voltage range. Predetermined maximum and minimum volt per turn values, V_{in}/N_p , stored in design constraint table 197, are used to select the range of primary turns for the transformer T1.
30 The maximum volt per turn primary yields the highest core loss and lowest winding loss. The minimum volt per turn primary yields the lowest core loss and highest winding loss.

For each different number of primary turns, the
35 converter generator then calculates (step 202) the number

- 24 -

of turns of primary (N_{VCC_p} , column 203) and secondary (N_{VCC_s} , column 204) auxiliary windings 205, 206 (Fig. 8), respectively. The auxiliary windings are used to power the primary and secondary control circuitry 208, 209.

- 5 The auxiliary windings are calculated with respect to the number of transformer T1 primary turns N_p and the required control circuitry voltage.

For each different number of primary turns, the converter generator also calculates (step 210) the number
10 of secondary turns (column 211) as a function of the number of primary turns and the user specified output voltage. The converter generator also selects the next highest number of secondary turns. For example, if the number of secondary turns is calculated at 1.5 turns,
15 bobbins carrying 2 and 3 turns are selected from table 199. As a result, for each different number of primary turns, two secondary turns are chosen ($N_{s(1)}$ 212 and $N_{s(2)}$ 213 corresponding to $N_{p(1)}$; $N_{s(3)}$ 214 and $N_{s(4)}$ 215 corresponding to $N_{p(2)}$).

- 20 For each secondary winding, the design generator calculates three different secondary leakage inductance values 218, each value corresponding to a different copper shield pattern on the cores used in transformer T1. Each shield pattern has an associated leakage
25 inductance factor A_{LX} (nanohenries/turns²) which is related to the amount of core surface area covered by the shield. The leakage inductance is also related to the number of secondary turns. For a more detailed discussion of controlling leakage inductance with core
30 shield patterns, see United States Serial No. 07/759,511, entitled "Transformer With Controlled Interwinding Coupling and Controlled Leakage Inductances and Circuit Using Such Transformer", and United States Serial No. 08/563,230, entitled "Plating Permeable
35 Cores", incorporated by reference. To provide

- 25 -

flexibility, three shield patterns are made available and three corresponding values of leakage inductance are calculated for each selected combination of primary and secondary turns.

5 The converter generator now calculates the voltages imposed on the resonant capacitors, C_r (36, Fig. 8), as a function of the transformer turns ratio (N_p/N_s) and the primary to secondary damping coefficient. The damping coefficient is a function of the resistive
10 components in series with the $L_{lk_s} - C_r$ circuit. For example, the resistive components include printed circuit board trace resistance, transformer resistance, and the equivalent series resistance (ESR) of the resonant capacitors.

15 At this point the converter generator could calculate values of resonant capacitors for each value of leakage inductance associated with each combination of primary and secondary windings (based upon the predefined value of converter output power and predefined high and
20 low limits on maximum converter operating frequency 227). However, as a practical matter, most of the values calculated in that way would ultimately result in unworkable configurations (e.g., they would not provide for zero-crossing of resonant current at maximum input
25 voltage and load power), so, as a means of limiting computing time and minimizing generation of extraneous configurations, a different approach is taken. For each turns ratio, the converter generator determines (step 226) the approximate values of resonant capacitance C_r
30 (column 228) that may be needed solely on the basis of maximum converter output power and the desired lower and upper limits on maximum converter operating frequency (e.g., 600 KHz and 1.2 MHz). The maximum converter output power and the lower limit on maximum converter
35 operating frequency are used to define an upper limit on

- 26 -

energy-per-operating cycle and this, in turn, is used to calculate an upper limit for the value of capacitance (e.g., using the approximation that the energy-per-operating cycle is $[1/2]/[C \cdot V_p^2]$, where V_p is the peak
5 voltage across the capacitor during the operating cycle); likewise the upper limit on maximum converter operating frequency is used to define a lower limit on energy-per-operating cycle and this, in turn, is used to calculate a lower limit for the value of capacitance. By this means
10 a minimum and maximum value of resonant capacitance may be calculated for each turns ratio. In addition, several more (e.g., four) resonant capacitor values, having incremental values between the minimum and maximum values, are also chosen (a 20% increment in the value of
15 C_r provides a 10% change in the resonant frequency of the L_{LK_S} - C_r circuit). Thus, for each turns ratio a total of six values of resonant capacitance are chosen (e.g., $C_{r(1)} - C_{r(6)}$, 229-234).

The converter generator checks (step 242) each
20 power train configuration for zero crossing criteria by calculating the peak current through the resonant capacitor (i.e., for each value of leakage inductance) and comparing that value to a predetermined maximum DC output current (e.g., the converter maximum output power
25 rating, P_{out} , divided by converter output voltage, V_{out}). If the peak value of resonant current is consistent with achieving zero crossing, the converter generator retains the configuration.

The maximum number of possible power train
30 configurations results when no configurations are eliminated. In the above example, for each number of primary turns a maximum of thirty-six configurations are generated. Each value of primary turns will have two secondary turns, three leakage inductance values (for
35 each secondary), and six values for resonant capacitors.

- 27 -

Thus, if eight different primary turn bobbins were selected, a maximum of 288 configurations (36 times 8) of key power train components could be generated.

After defining all viable key power train components (step 172, Fig. 7), the converter generator determines (step 174) the output rectifiers (D_{FW} and D_{FWD} , columns 244, 246) and output filter components (L_{out} and C_{out} , columns 248, 250) required by each configuration. The lowest voltage rating output rectifiers are selected (step 252) with respect to the turns ratio and output power. The output filter components (L_{out} and C_{out}) are selected (step 254) such that: (1) the maximum amount of output capacitance is used (based upon the total number of capacitors which can be placed within a product and the maximum values of capacitance available for the defined value of output voltage) as a means of minimizing converter output ripple and (2) L_{out} , in combination with C_{out} , results in an output filter breakpoint frequency which is consistent with some desired, predefined, value of control loop bandwidth.

Given the power train components, the conversion frequency at various operating conditions can be calculated and stored for future use in power dissipation calculations.—The operating frequency is the rate at which energy is transferred from the primary to the secondary of transformer T1. The operating frequency will be evaluated at three different operating conditions 1) LLFL: low-line, full load (minimum input voltage, maximum output power), 2) HLFL: high-line, full load (maximum input voltage, maximum output power) and 3) NLNL: nominal-line, nominal load (50% of input voltage range, 75% of maximum output power).

For each power train configuration (including key power train components, output rectifiers, and output filter components), the converter generator then

- 28 -

determines (step 176) which combination of main switch (Q1 column 256, Figs. 10a-10b), reset circuit (including Q_{reset} 257, C_{reset} 258, columns 259, 260), drive transformer T_p 20, and magnetizing inductance (L_{mag}) 266
 5 dissipates the least amount of power (i.e., is optimal with respect to efficiency). In calculating power dissipation, both conductive and switching losses are considered. The power loss due to switching Q1 (P_{sw}) is equal to one half of the output capacitance (C_{oss} 268,
 10 Fig. 8) of Q1 times the square of drain-to-source voltage (V_{c_oss}) times the operating frequency (f_c):

$$P_{sw} = 1/2 C_{oss} V_{c_oss}^2 f_c.$$

At ideal zero-voltage switching, Q1 is switched when V_{c_oss} is zero resulting in zero switching losses (P_{sw}).

15 To accurately determine the non-ideal switching losses for each main switch, reset circuit, and drive transformer combination, V_{c_oss} and C_{oss} (which is a function of V_{c_oss}) need to be accurately calculated at the time Q1 is turned on. The time between Q_{reset} being
 20 turned off and Q1 being turned on (τ_{zvs}) is the amount of time allowed for the magnetizing current in T1 to non-dissipatively discharge the C_{oss} of MOSFET switch Q1 to zero volts. If V_{c_oss} is zero at the time Q1 turns on, the circuit is said to perform 'zero-voltage switching.'

25 τ_{zvs} includes two time intervals t₁ and t₂ corresponding to two different circuit states having two different C_{oss} discharge rates. Time interval t₁ corresponds to the period during which both the magnetizing inductance (L_{mag} 266) and the primary-
 30 reflected leakage inductance contribute to the discharge rate of C_{oss}, whereas time interval t₂ corresponds to the period during which only the primary leakage inductance contributes to the discharge, leading to a slower C_{oss} discharge rate. The cross-over between t₁ and t₂
 35 corresponds to the time at which the voltage across the

- 29 -

primary winding N_p of T1 drops to zero and D_{FWD} becomes forward biased, thereby shorting out L_{mag} .

After determining (step 176) the Q1, reset circuit, and drive transformer combination that
5 dissipates the least amount of power for each converter configuration and adding that combination to the converter configuration matrix, the converter generator eliminates (step 178, Fig. 7) configurations that exceed predetermined design constraints. In one example, the
10 converter generator calculates (step 178', Fig. 9c) each configuration's worst case power dissipation and compares that value to a power dissipation threshold associated with the user-specified value of maximum baseplate operating temperature. Lower baseplate operating
15 temperatures correspond to higher power dissipation thresholds. The converter generator discards any configurations having a worst case power dissipation that exceeds a maximum power dissipation threshold. If the converter generator determines that no configuration
20 satisfies all predetermined design constraints (such as power dissipation), then the converter generator will use a successive approximation scheme to determine the closest limits to the original specifications that have a solution.

25 If more than one configuration passes the previous step, the converter generator will then evaluate (step 180) each configuration's design metrics, including efficiency (Eff, column 268), lead time (LT, column 270), cost (column 272), and reliability (mean time between
30 failure, MTBF, column 274), and select (step 182) the configuration that is optimal with respect to the user selected design metrics. In one example, a user specifies the efficiency design metric, and the converter generator calculates (step 276) the efficiency of each
35 configuration by calculating the power dissipation of

- 30 -

each component in the configuration at NLNL and then summing these values. The converter generator then selects the most efficient configuration. Instead of selecting one design metric, the user may choose a
5 weighted combination of two or more design metrics. For example, a user may specify that efficiency have an 80% weighting and cost a 20% weighting to cause the converter generator to select a configuration that meets the user's functional requirements and is among the top 20% of
10 configurations in terms of efficiency and among the top 80% in terms of cost effectiveness.

The converter generator then calculates and selects (step 278) input filter components from a table 280 of available input inductors and input capacitors and
15 adds these components to the selected configuration. The input filter components might, for example, be selected to provide a fixed breakpoint frequency of, for example, 20 KHz. Or they may be selected to provide a fixed amount of attenuation, for example, 40 dB at 1 Mhz, or to
20 provide a fixed percentage of input-reflected ripple current (e.g., the peak-to-peak current variation at the input of the converter expressed as a percentage of the DC input current drawn by the converter). The user may be given the ability to request a different attenuation,
25 for example, 60 dB, or to select different input filter components as a means of altering the cost and/or input-reflected ripple current characteristics of the converter.

The converter generator then selects (step 282)
30 control circuitry 44 (Figs. 1 and 7) components from a table 283 of control circuitry components, adds them to the selected configuration, and generates (step 284) a bill of material (BOM). The converter generator also assigns the configuration a part number, calculates a
35 configuration cost, and estimates a delivery date based

- 31 -

upon the quantity of converters specified by the user. The converter generator sends (step 286) this information to the user via the DAC 134 (Fig. 4) and the MRP system 138.

5 Other Embodiments

Other embodiments are within the scope of the following claims.

For example, additional functional requirements that may be input by the user include input ripple/noise
10 level, output ripple/noise level, operating frequency range, and transient responses; other optimization criteria may also be used, such as power density.

As another example, instead of one mother board 50 (Fig. 1), multiple mother boards may be available and
15 correspond to power converters of different physical sizes. The user may specify that the converter generator try to fit a particular configuration into a module package of a particular size or request that the converter be packaged in the smallest package in which it
20 will fit.

Application of the invention is not limited to forward converters switching at zero-current, but may be applied to any kind of power converter. For example, if, as shown in Fig. 11, the converter were a pulse-width-
25 modulated forward converter 300 operating at a fixed frequency and comprising a main switch 302, an active reset circuit 304 of the kind described in U. S. Patent 4,441,146, a transformer 306, a rectifier diode 308, a freewheeling diode 310 and an output filter 312, then the
30 converter generator might generate configurations on the basis of: usable transformer primary 316 and secondary 318 turns and turns ratio; the impact of magnetizing current on efficiency accruing from zero-voltage switching behavior of the main switch 302 (i.e., due to a
35 small delay introduced between the turn-on time of the

- 32 -

main switch and the turn-off time of the reset switch 318, as taught in U. S. Patent 4,441,146); effects of the fixed operating frequency on harmonic losses, including switching losses in the main switch. In general, all of
5 the factors cited are interactive to one degree or another and all would effect various converter performance metrics, including power density, conversion efficiency, cost, reliability and package density.

Appendix I

10 An example of a DC-DC converter is shown in Figs. 1, 2, and 8. In the Figures, a zero-current switching single ended forward power converter 10 converts a DC input voltage (V_{in}) to a regulated DC output voltage (V_{out}). The input voltage passes through an input filter
15 12, including an input inductor 14 (L_{in}) and an input capacitor 16 (C_{in}), before being applied to a series circuit formed by a main switch 18 (Q1) and the primary winding 26 of a leakage-inductance transformer (T1) 24. During each converter operating cycle, the main switch 18
20 is opened and closed at times of zero current. This results in a 'quanta' of energy being transferred from the DC input source to the converter output via the resonant circuit formed by the leakage inductance of the transformer 24 and the resonant capacitors 36 (C_r).
25 Energy flow is unidirectional, due to the forward rectifier 32 (D_{FWD}). The output inductor 40 (L_{out}) acts as a 'current sinking' load to discharge energy from the resonant capacitors; the combination of the output inductor and the output capacitors 42 (C_{out}) form an
30 output filter which produces an essentially DC output voltage, V_{out} . The freewheeling diode 34 (D_{FW}) and the boost switch 49 are used to control the charging of the resonant capacitors so as to: (1) prevent the resonant capacitors from being charged to a negative voltage; and

- 33 -

(2) control the amount of energy which is transferred forward during an operating cycle (and thereby control the operating frequency of the converter). Primary and secondary control circuitry (included within molded control assembly 44) maintains V_{out} at a predetermined value by controlling the operating frequency (e.g., the number of operating cycles per second) of the power converter as the input voltage and load are varied. A reset circuit 22, also included within the molded assembly 44, including a reset capacitor (C_{reset}) in series with an auxiliary switch (Q_{reset}), acts as a "magnetizing current mirror" to reset the core of the transformer during each operating cycle. Control circuitry turns main switch Q1 on and off via drive transformer 20 (T_D).

More detailed descriptions of zero-current switching single ended forward converters, can be found in United States Patent No. 4,415,959, "Forward Converter Switching at Zero Current;" United States Patent No. 4,675,797, "Current-Fed Forward Converter Switching at Zero Current;" United States Patent No. 5,235,502, "Zero Current Switching Forward Power Conversion With Controllable Energy Transfer;" and in U. S. Patent Application No. 08/187,296, "Power Conversion in Anticipatory Reverse Boost Mode," incorporated by reference. For a more detailed description of the control circuitry, see United States Patent No. 5,490,057, "Feedback Control System Having Predictable Open-Loop Gain," and United States Patent Application Serial No. 08/077,011, entitled "Power Converter Configuration, Control, and Construction," also incorporated by reference. For a more detailed description of the reset circuitry, see United States Patent No. 4,441,146, entitled "Optimal Resetting of the Transformer's Core in Single Ended Forward Converters"

- 34 -

and United States Serial No. 08/373,112, entitled
"Control of Stored Magnetic Energy in Power Converter
Transformers," also incorporated by reference.

Construction of the converter is shown in Figure
s 1. The main switch 18, as well as other heat generating
semiconductors (such as the output rectifiers 32, 34),
are mounted to a metal baseplate assembly 48.
Input/output pads on the main switch 18 and the output
rectifiers 32, 34 are electrically connected to
10 corresponding pads on a mother board 50, and the
remaining power converter components are mounted to and
are electrically connected together through traces in the
mother board. Fences 52, 54 are electrically connected
to traces in the mother board and provide external
15 electrical connections to the converter through pins 56
that extend through holes 58 in a stepped converter cover
60. For a more detailed description of the power
converter configuration, see United States Patent No.
5,365,403, "Packaging Electrical Components,"
20 incorporated by reference.

Referring to Figs. 3a-3c, a power converter
manufacturing line 70 includes a controller assembly line
72 for assembling the control assembly 44 (Fig. 1). At a
solder station 74 (Fig. 3b) within the controller
25 assembly line, solder paste is applied to predetermined
locations on controller printed circuit boards (PCBs).
At a pick and place station 76, controller electrical
components are selected from available component stock
and placed on the predetermined locations. Certain
30 components are measured prior to placement and the
measured values of these components are used to calculate
values of other components which are to be incorporated
into the converter. For example, a calculated value may
be used to laser-trim a resistor blank to provide the
35 exact value resistor needed to accurately set the desired

- 35 -

value of converter output voltage. By this means, a few
reels of resistor blanks may be used to create a
virtually unlimited number of resistor values. For a
more detailed explanation of component blank
5 modification, see United States Patent No. 5,443,534,
entitled "Providing Electronic Components for Circuitry
Assembly," incorporated by reference.

The loaded controller PCBs are passed through an
oven 78 which reflows the solder paste. The PCB
10 assemblies are then tested, and PCBs determined to have
failures are discarded.

The remaining PCBs are passed through a molding
station 80 where the primary and secondary controller
sections are encapsulated in a molding compound. A
15 portion of each PCB, which include the input/output pads
for connecting the controllers to the mother board 50,
are left exposed. For a more detailed description of the
molding process, see United States Patent Application
Serial No. 08/340,162, entitled "Circuit Encapsulation,"
20 incorporated by reference.

The primary and secondary controller halves are
then separated and glued together in a side-by-side
configuration (44, Fig. 1). The set of molded control
assemblies are then inserted into a temperature
25 cycling/electrical testing station 82 and tested as the
temperature of the station is increased and decreased.
Control assemblies which fail are discarded.

Each molded pair of PCBs is mounted and glued to a
mother board 50 (Fig. 1) at a mother board assembly
30 station 84. Surface mount epoxy, for holding down other
components during the assembly process, is then applied
to predetermined mother board locations at an epoxy
station 86. At a transformer assembly and test station
88, core halves and winding bobbins are selected from
35 available stock and used to assemble transformer T1 24

- 36 -

(Fig. 1). The magnetizing inductance of the transformers is accurately adjusted at an automated inductance-setting unit, and transformers are placed onto the mother board (and held in place by the surface mount epoxy). For a
5 more detailed description of the inductance setting process and equipment, see United States Serial No. 08/347,874, entitled "Setting Inductance Value of Magnetic Components," incorporated by reference. A pick and place station 90 selects additional components,
10 including C_F , C_{out} , C_{in} , aligns component pins with corresponding holes in the mother board by means of a vision system and inserts the components in the remaining predetermined mother board locations.

The mother boards are then passed through a solder
15 fountain in a solder station 92. Solder from a solder fountain provides electrical connections between the mother board holes and the component pins inserted in the holes. For a more detailed description of the solder fountain, see United States Serial No. 08/420,553,
20 entitled "Soldering," incorporated by reference.

At a terminal block assembly station 94, fences 52 and 54 (Fig. 1) are soldered to the mother board. A baseplate, containing the correct complement of power semiconductor devices for a specific converter model, is
25 provided by a baseplate assembly line 96 and mounted to the fence and mother board combination at terminal block/baseplate assembly station 98. At a sealant station 108, sealant is dispensed along edge 110 (Fig. 1) of the baseplate, and at a solder station 112, solder is
30 applied to input/output pads on the main switch and output rectifiers. Electrical pads on the mother board are soldered to these input/output pads after the mother board is connected to the baseplate. A cover 60 (Fig. 1) is also mounted over the mother board and baseplate at
35 assembly station 98. For a more detailed description of

- 37 -

how baseplates are constructed, see United States Serial No. 08/382,676, entitled "Flowing Solder in a Gap," and United States Serial No. 08/523,873, entitled "Packaging Electrical Circuits," which are incorporated by
5 reference.

After attaching the cover to the baseplate, the cavity between the cover and the baseplate may be filled with encapsulant at an encapsulant station 114. For a detailed description of how the cavity is filled, see
10 United States Serial No. 08/582,634, entitled "Filling of Assemblies," incorporated by reference. The assembly is then passed through an oven 116 to cure the encapsulant. The converters are then passed to a final test station 118 before being shipped 120 to customers.

15 Reference to Microfiche Appendix II

A microfiche appendix containing rules, equations, and tables used by the converter generator consisting of 216 microfiche images on 4 microfiche cards is filed herewith. (The values stored in several of the tables
20 may be calculated by the converter generator instead of listed in a table.)

A portion of the disclosure of the patent document contains material which is subject to copyright protection. The copyright owners have no objection to
25 the facsimile reproduction by anyone of the patent document or the patent disclosure, as it appears in the Patent and Trademark Office patent file or records, but otherwise reserves all copyright rights whatsoever.

- 38 -

What is claimed is:

1. A method for use in determining a power converter configuration comprising:

receiving power converter operating characteristic
5 information;

in a computer, determining alternative power converter configurations that are consistent with the operating characteristic information; and

selecting one of the alternative power converter
10 configurations that tends to have optimal efficiency.

2. The method of claim 1, wherein efficiency is measured as power converter heat loss.

3. A method for use in determining a power converter configuration comprising:

receiving power converter operating characteristic
15 information;

receiving optimization criteria;

in a computer, determining alternative power converter configurations that are consistent with the
20 operating characteristic information; and

selecting one of the alternative power converter configurations that tends to be optimal with respect to the optimization criteria.

4. The method of claims 1 or 3, wherein
25 determining alternative power converter configurations includes calculating a combined heat loss for each alternative power converter configuration, and wherein selecting one of the power converter configurations includes selecting a configuration having the least
30 combined heat loss.

5. The method of claim 4, wherein determining alternative power converter configurations further includes:

evaluating the component interrelations for each
35 alternative power converter configuration.

- 39 -

6. The method of claim 3, wherein determining alternative power converter configurations includes determining performance metrics for each alternative power converter configuration based on a predetermined
5 set of performance criteria.

7. The method of claim 6 wherein the performance criteria and the optimization criteria are the same.

8. The method of claim 6, further including:
storing the determined performance metrics.

10 9. The method of claim 8, further including:
accessing the stored determined performance metrics.

10. The method of claims 1 or 3, wherein determining alternative power converter configurations
15 includes:

eliminating power converter configurations that are inconsistent with a predetermined design constraint.

11. The method of claim 10, wherein the predetermined design constraint is a power dissipation
20 threshold.

12. The method of claims 1 or 3, wherein determining alternative power converter configurations includes:

25 eliminating power converter configurations that are inconsistent with the received power converter operating characteristic information.

13. The method of claim 3, wherein the optimization criteria include efficiency, reliability, lead time, conducted noise, or cost.

30 14. The method of claim 3, wherein the optimization criteria include at least two criteria.

15. A method for use in determining a power converter configuration comprising:

- 40 -

determining alternative power converter configurations that are consistent with operating characteristic information;

calculating a combined heat loss for each of the
5 alternative power converter configurations; and

selecting one of the alternative power converter configurations that tends to minimize the combined heat loss.

16. The method of claim 15, further comprising:
10 receiving the operating characteristic information from a user.

17. A method for use in determining a power converter configuration comprising:

receiving power converter operating characteristic
15 information;

receiving selection criteria; and

in a computer, determining alternative power converter configurations that are consistent with the operating characteristic information; and

20 selecting one of the alternative power converter configurations in response to the selection criteria.

18. The method of claims 1, 3, 15, or 17, wherein determining alternative power converter configurations includes:

25 selecting power converter components from an inventory of available components having a range of parameter values.

19. The method of claim 18, wherein the range comprises two parameter values.

30 20. The method of claims 18, wherein the power converter components include a number of primary turns on a transformer.

21. The method of claims 18, wherein the power converter components include a number of secondary turns
35 on a transformer.

- 41 -

22. The method of claims 18, wherein the power converter components include a resonant capacitor.

23. The method of claims 18, wherein the power converter components include a transformer having a core shield pattern.

24. The method of claims 18, wherein the power converter components include output rectifiers.

25. The method of claims 18, wherein the power converter components include output filter components.

10 26. The method of claims 18, wherein the power converter components include input filter components.

27. The method of claims 18, wherein the power converter components include main switches.

15 28. The method of claims 18, wherein the power converter components include drive transformers.

29. The method of claims 18, wherein the power converter components include reset circuit components.

20 30. The method of claim 17, wherein the selection criteria include efficiency, reliability, lead time, conducted noise, or cost.

31. The method of claim 17, further comprising: receiving another selection criteria, wherein the power converter configuration is selected in accordance with both selection criteria.

25 32. The method of claim 17, wherein determining alternative power converter configurations includes determining performance metrics for each alternative power converter configuration based on a predetermined set of performance criteria.

30 33. The method of claim 32 wherein the performance criteria and the selection criteria are the same.

34. The method of claim 32, further including: storing the determined performance metrics.

35 35. The method of claim 34, further including:

- 42 -

accessing the stored determined performance metrics.

36. The method of claims 1, 3, 15, or 17, further including

5 generating a bill of materials for the selected one of the alternative power converter configurations.

37. The method of claims 1, 3, 15, or 17, further comprising:

determining power converter configurations that
10 are consistent with previously received operating characteristic information and are functionally fully backwards compatible with power converters delivered earlier in time.

38. The method of claims 1, 3, 15, or 17, further
15 comprising:

providing a user interface to the computer, wherein the operating characteristic information is received through the user interface.

39. The method of claim 38, wherein the user
20 comprises a customer.

40. The method of claim 38, wherein the user comprises a power converter designer.

41. A method of supplying a power converter comprising:

25 receiving, at a first party, operating characteristic information about a power converter from a second party; and

in a computer, determining a power converter configuration that is consistent with the operating
30 characteristic information and tends to optimize the power converter based on optimization criteria; and

providing specifications for the determined power converter configuration.

42. The method of claim 41, further comprising:

- 43 -

receiving, at the first party, the optimization criteria from the second party.

43. The method of claim 41, further comprising:
generating a bill of materials for the determined
5 power converter configuration.

44. The method of claim 43, further comprising:
sending electronically the bill of materials to a
computer integrated manufacturing line.

45. The method of claim 41, further comprising:
10 building the determined power converter
configuration at a computer integrated manufacturing
facility.

46. The method of claim 41, further comprising:
providing the specifications for the determined
15 power converter configuration to the second party.

47. The method of claim 41, wherein the
specifications include availability information for the
determined power converter configuration.

48. The method of claim 41, wherein the
20 specifications include cost information for the
determined power converter configuration.

49. The method of claim 41, wherein the computer
is at a site local to the first party and wherein
receiving, at the first party, operating characteristic
25 information about a power converter from the second party
includes:

accessing a user interface of the computer from a
site at the second party that is remote to the site local
to the first party.

30 50. A system for use in determining a power
converter configuration comprising:

a program for determining a power converter
configuration that is consistent with operating
characteristics and tends to optimize the power converter
35 configuration based on optimization criteria; and

- 44 -

a user interface, coupled to the program, that receives the power converter operating characteristics.

51. The system of claim 50, wherein the user interface also receives the optimization criteria.

5 52. The system of claim 50, further comprising:
a computer for executing the program.

53. A method for use in determining a power converter configuration comprising:

receiving, at a first party, functional operating
10 characteristic information about a power converter and optimization criteria from a second party;

in a computer, accessing a power converter generator that determines power converter configurations that meet the functional operating characteristic
15 information and which determines and stores information about each configuration with respect to the optimization criteria;

selecting one of the determined power converter configurations that tends to optimize the power converter
20 configuration based on the optimization criteria;

providing specifications for the selected power converter configuration to the second party;

receiving, at the first party, approval of the selected power converter configuration from the second
25 party; and

delivering fabrication information for the selected power converter configuration to a manufacturing facility.

54. The method of claim 53, further comprising:
30 initiating an electrical connection between the first party and the second party; and

sending the operating characteristic information and the optimization criteria from the second party to the first party via the electrical connection.

35 55. The method of claim 53, further comprising:

- 45 -

building a power converter from the fabrication information; and

shipping the power converter to the second party.

56. The method of claim 53, further comprising,
5 before receiving approval:

receiving, at the first party, different operating characteristic information from the second party;

in the computer, determining another power converter configuration that is consistent with the
10 different operating characteristic information and tends to optimize the another power converter configuration's based on the optimization criteria; and

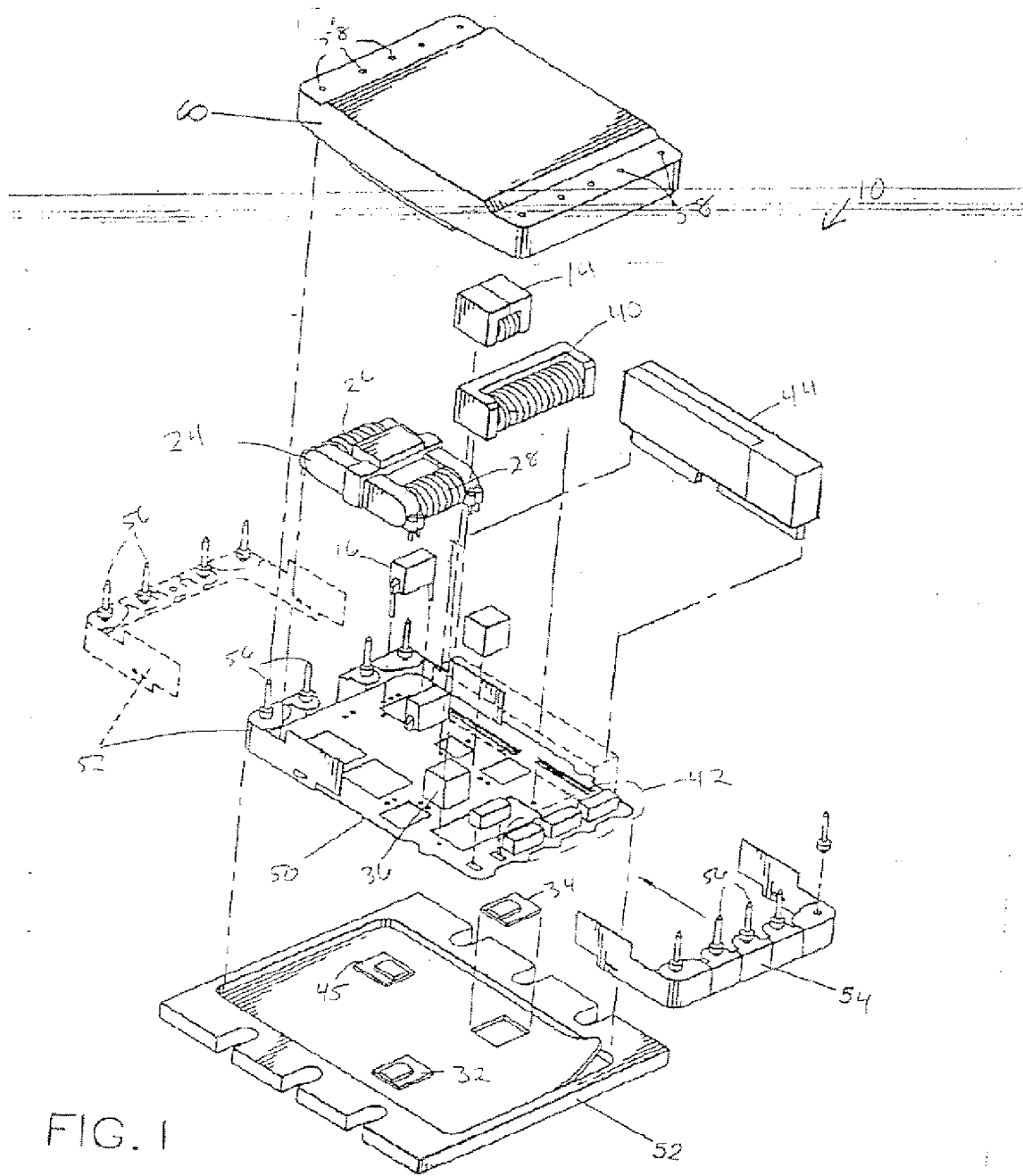
providing the specifications for the determined another power converter configuration to the second
15 party.

57. The method of claim 53, further comprising,
before receiving approval:

receiving, at the first party, different optimization criteria from the second party;

20 in the computer, determining another power converter configuration that is consistent with the operating characteristic information and tends to optimize the another power converter configuration based on the different optimization criteria; and

25 providing the specifications for the determined another power converter configuration to the second party.



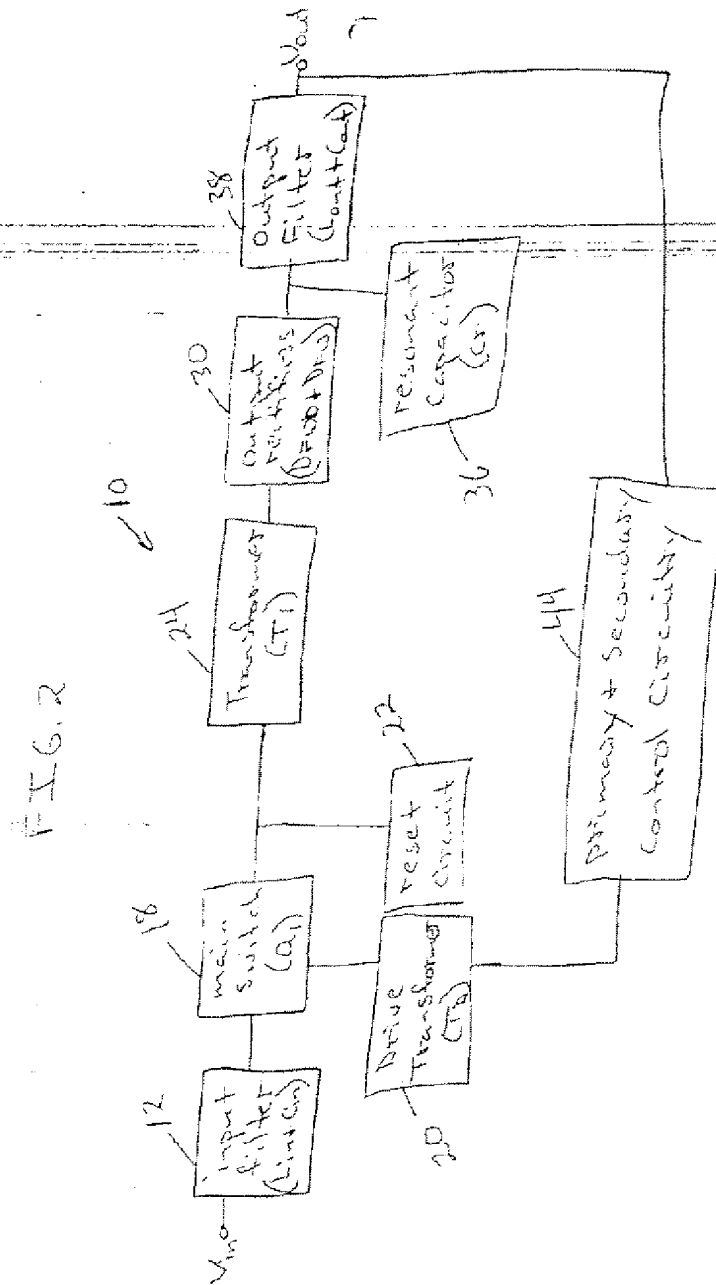


Fig. 3a

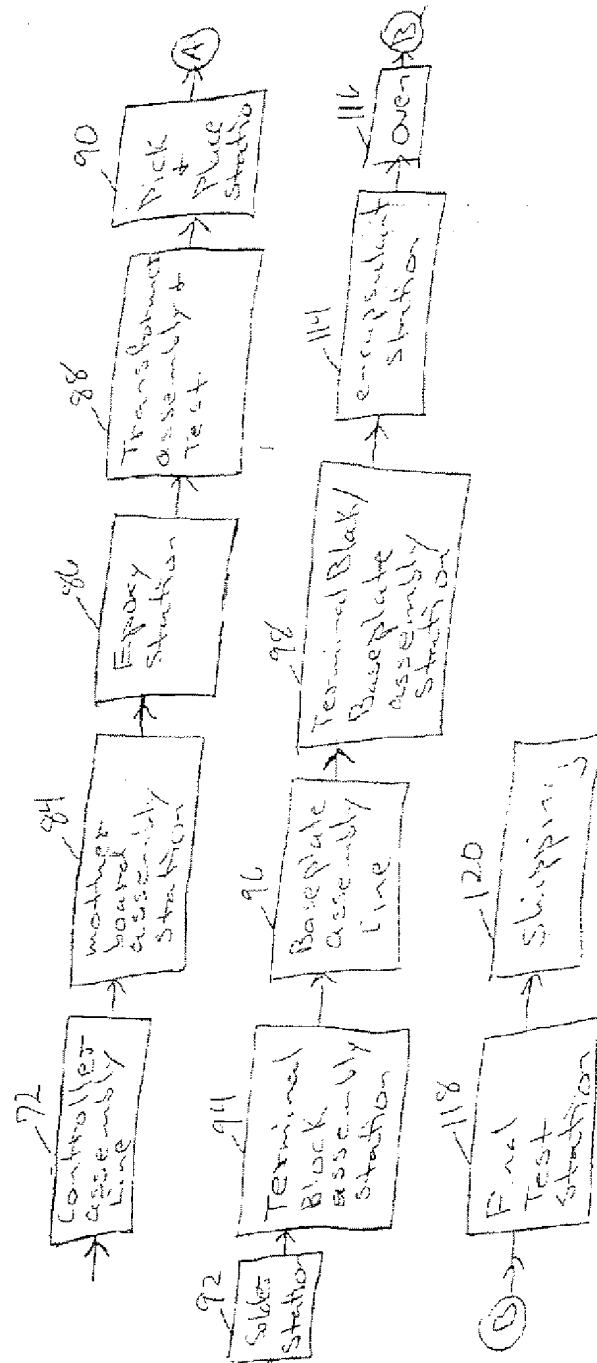
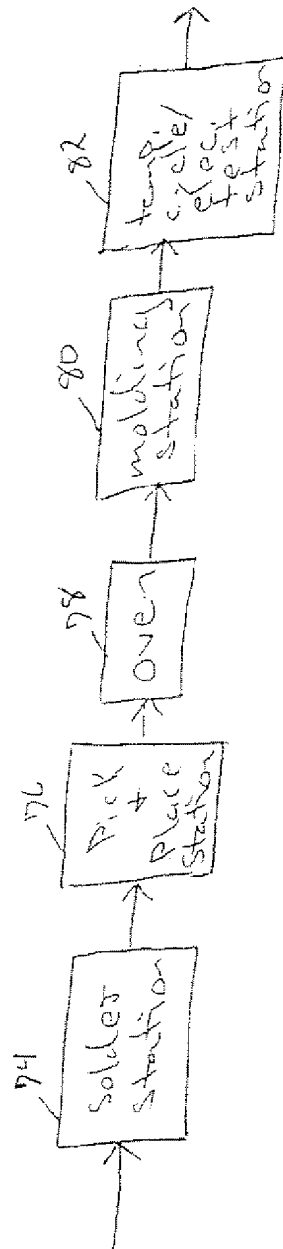


Fig. 3b

PC Controller Assembly Line



96 Package Assembly Line

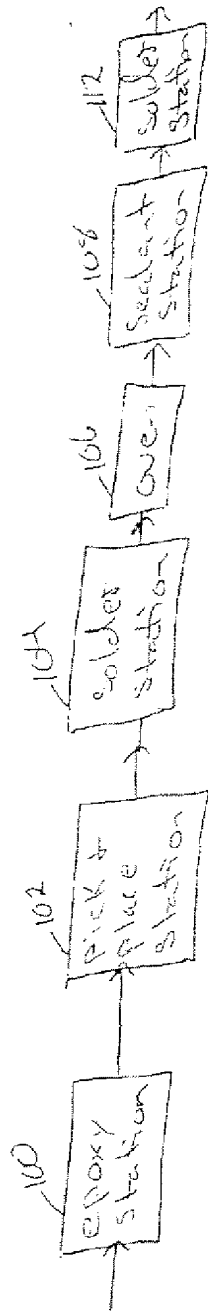
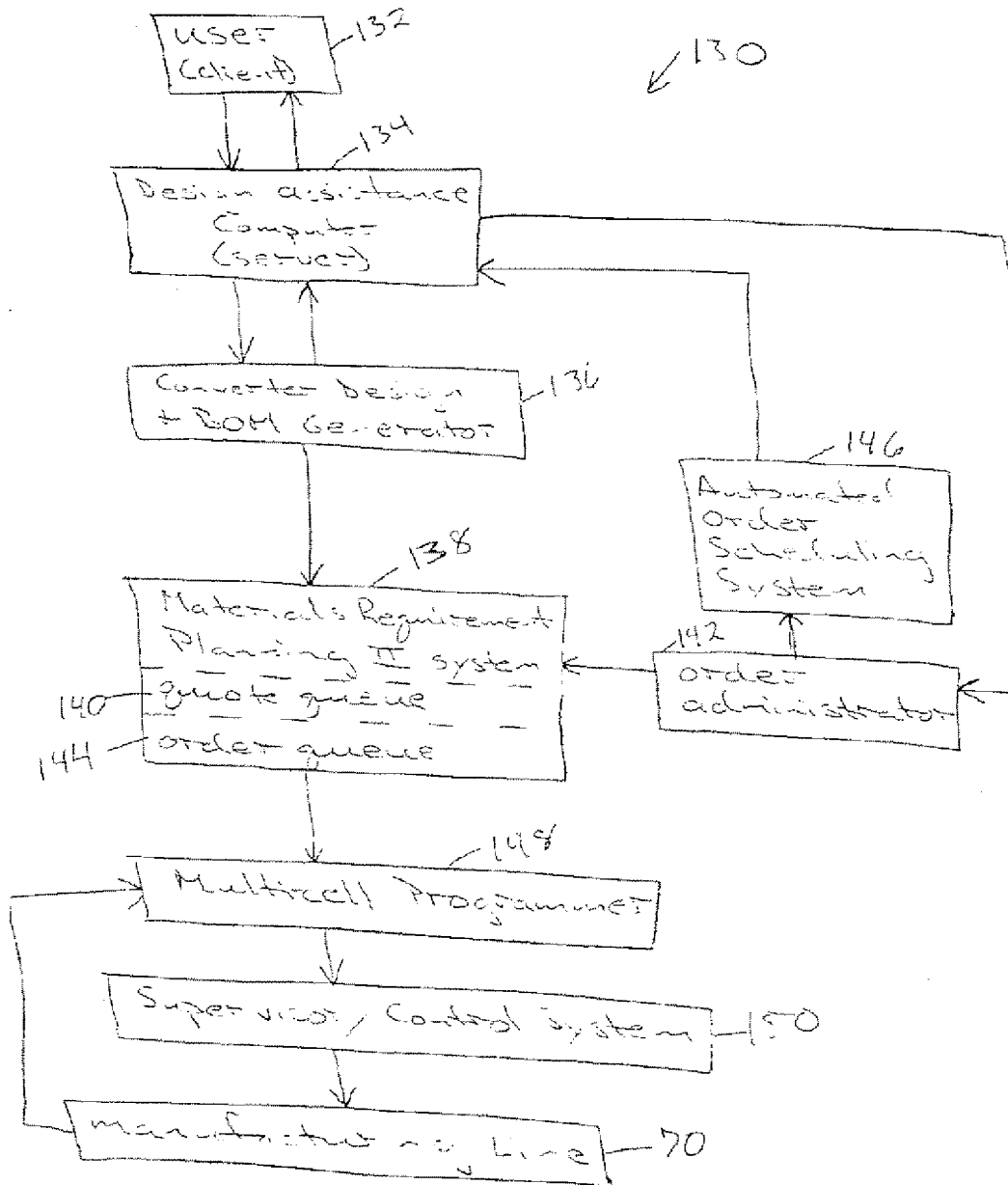


FIG. 4

6



VICOR
Design Assistance Computer

Your Requirements

Input Voltage: 150/200
Output Voltage: 1.5
Output Power: 60 Watts
Product Grade: 20 C to 100 C
Module Size: Dualer (7 Series)

Quarter Size
1.45 x 2.28 x 0.5

Model: VI-77Y-CZ
Price:
NRE Price:

Driver(s)/ Boosters(s):
Maximum Power: 20 Amps
Shipment in days:

UV Lockout: 95
Low Line: 100
High Line: 375
OV Lockout: 394
Case Style: Flush-mount

FIG. 5

135 →

Current User: default

Log In: Chg. Password

Administration: Production: Product Design: Tracking: Quality SOA: Maintenance: Help

Navigation Center

Module Production: Printing Assembly: Operation 10: Screen Print

Hardware: Navigation Center

System Set-Up

Current Panel: Board Number: Revision: Part: Part: Serial Number: Sales Order: Item: Line: Primary Assembly Number: Notes

(Control Panel): Release (Pin): Clear Barcodes

Screen Name: 13255_#2_T (Sketch Screen)

Dispatch Mode: ☒ Automatic ☐ Manual ☐ Hard Vold ☐ Disable Dispatch ☐ Void ☐ Business Status: Critical

Scanner Mode: ☒ Automatic ☐ Manual ☐ Input

Dispatch List:

Sales Order	Line	Primary Assembly Number	Board Number	Revision	Start Date	Priority	Temp Cycles	Ret Quantity
FX17418	1	VI-710018	13255	02	11/13/95	1	0	3
FX14016	1	VI-710018	13255	02	11/27/95	1	0	100

Schedule: Alarm/Warning/Event

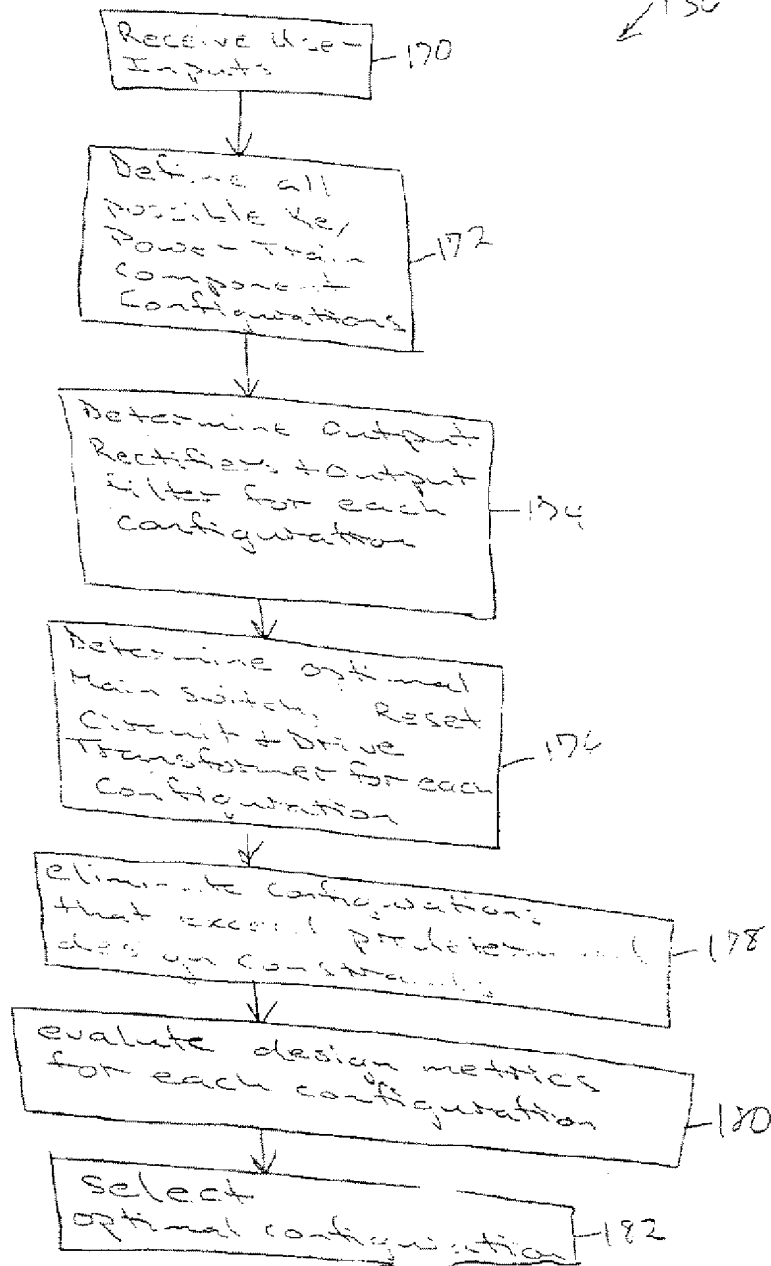
Print: 13255_#2_T

Legend: ☒ Normal ☒ FIS 1624 ☒ Files processing by MCR ☒ Active w/ Alert ☒ Sales Test

Change Hold Status

FIG. 6

FIG. 7



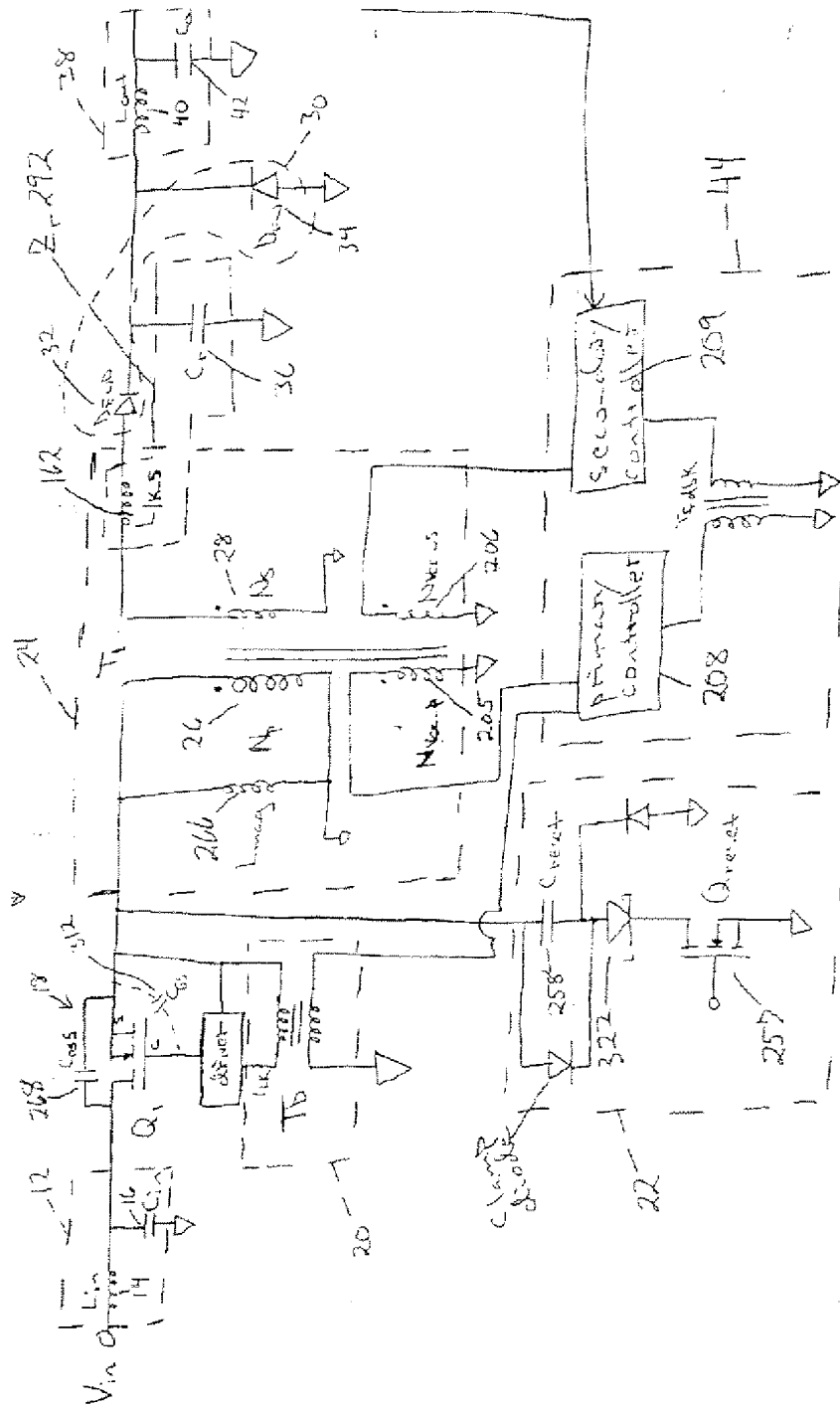


FIG. 8

FIG. 9a

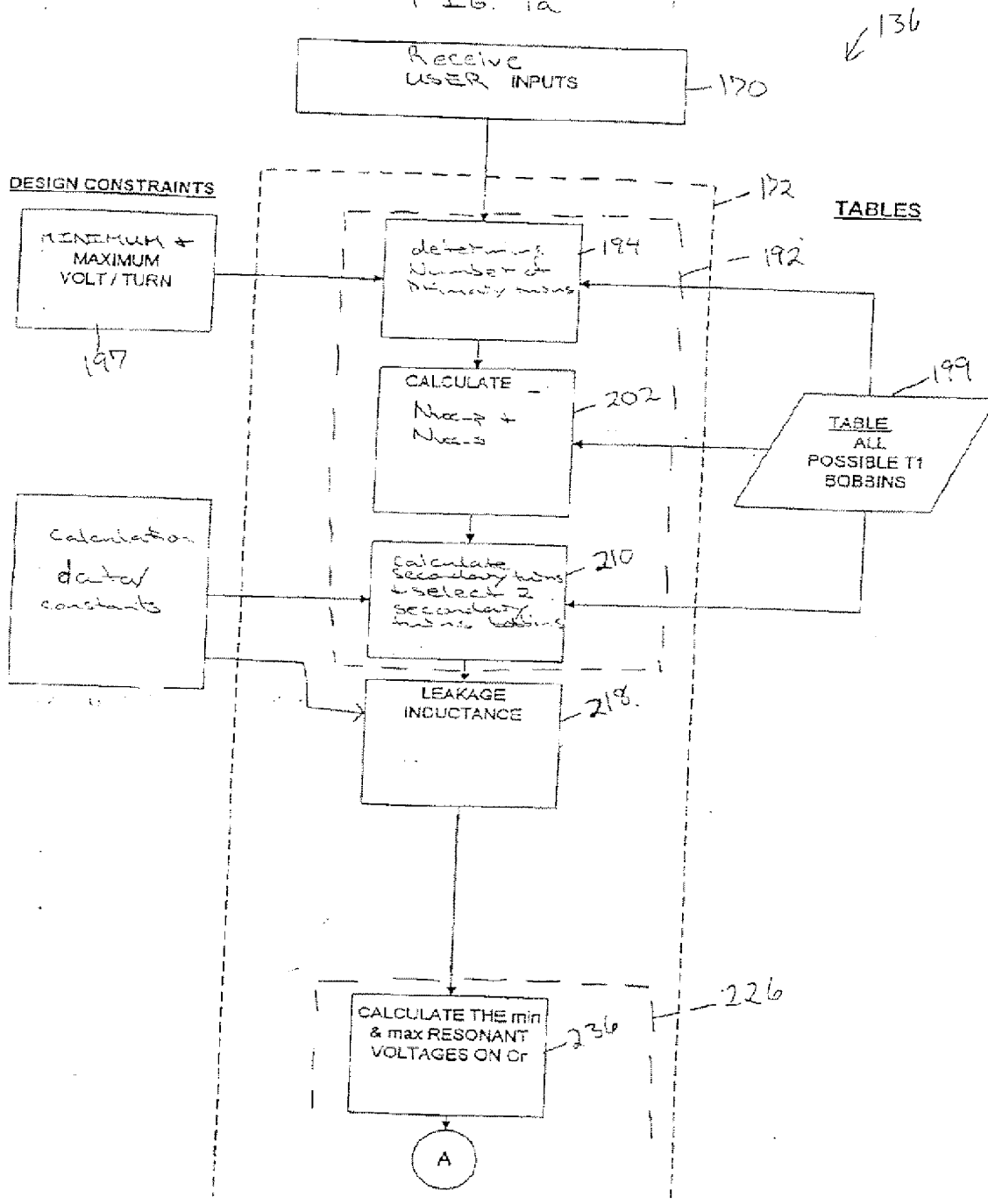


FIG. 9C

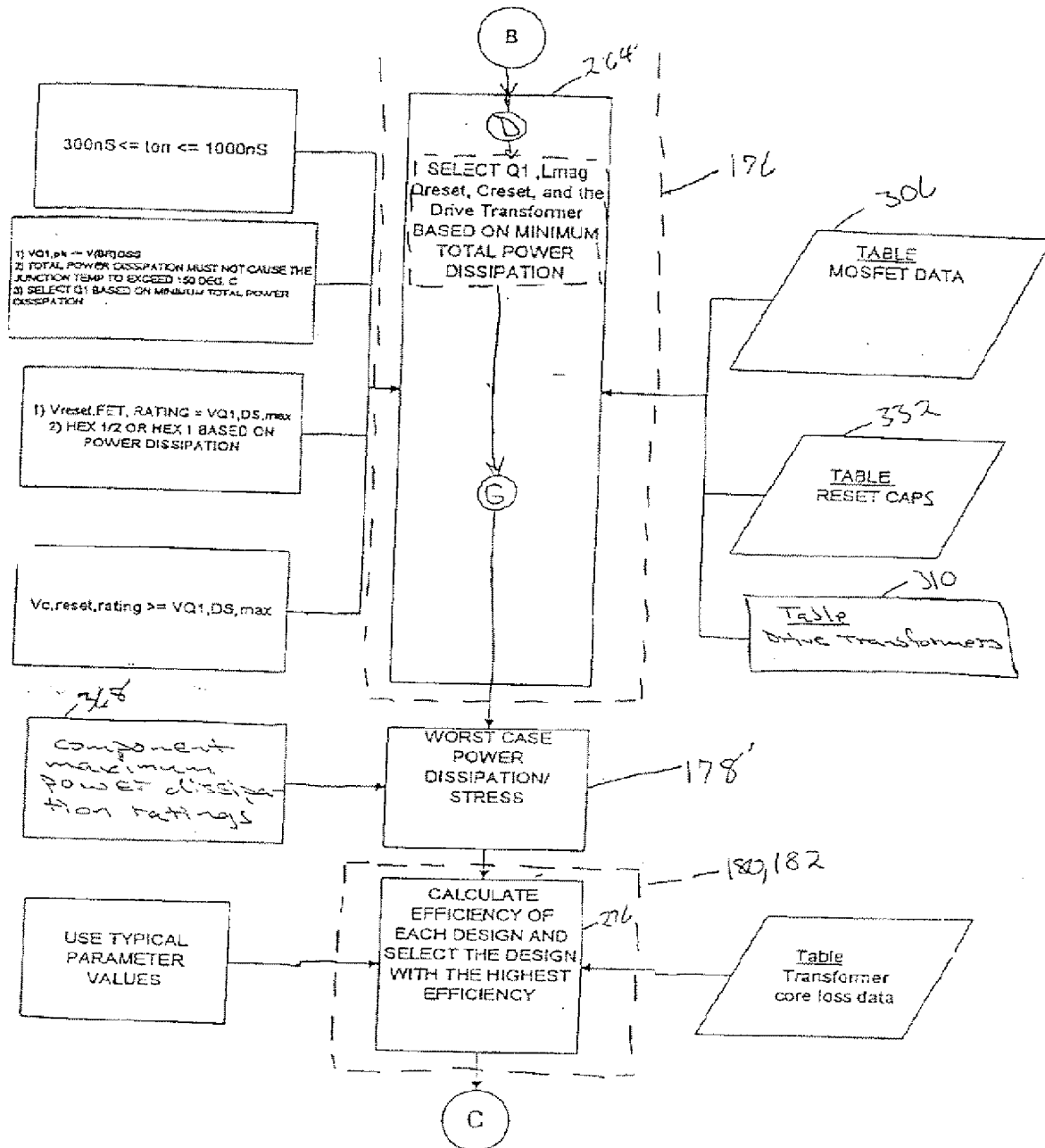
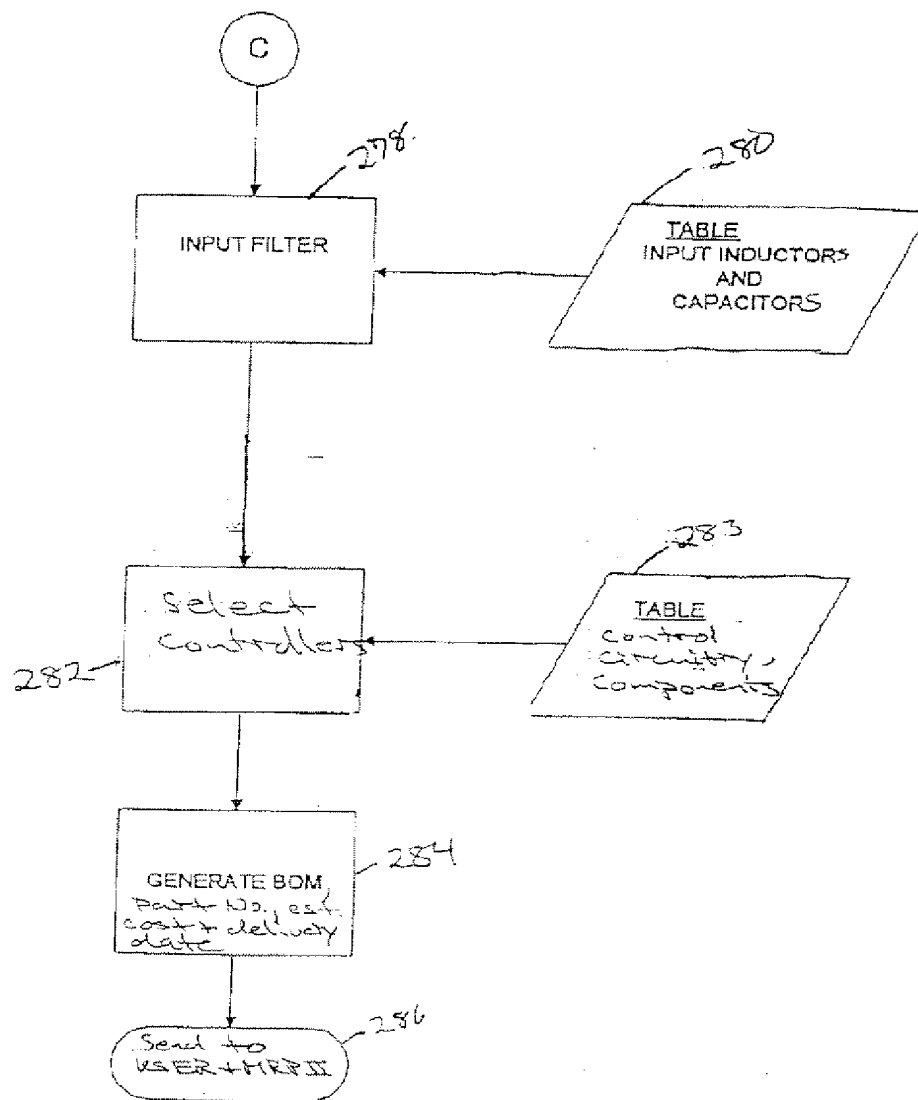


FIG. 9d

14



17

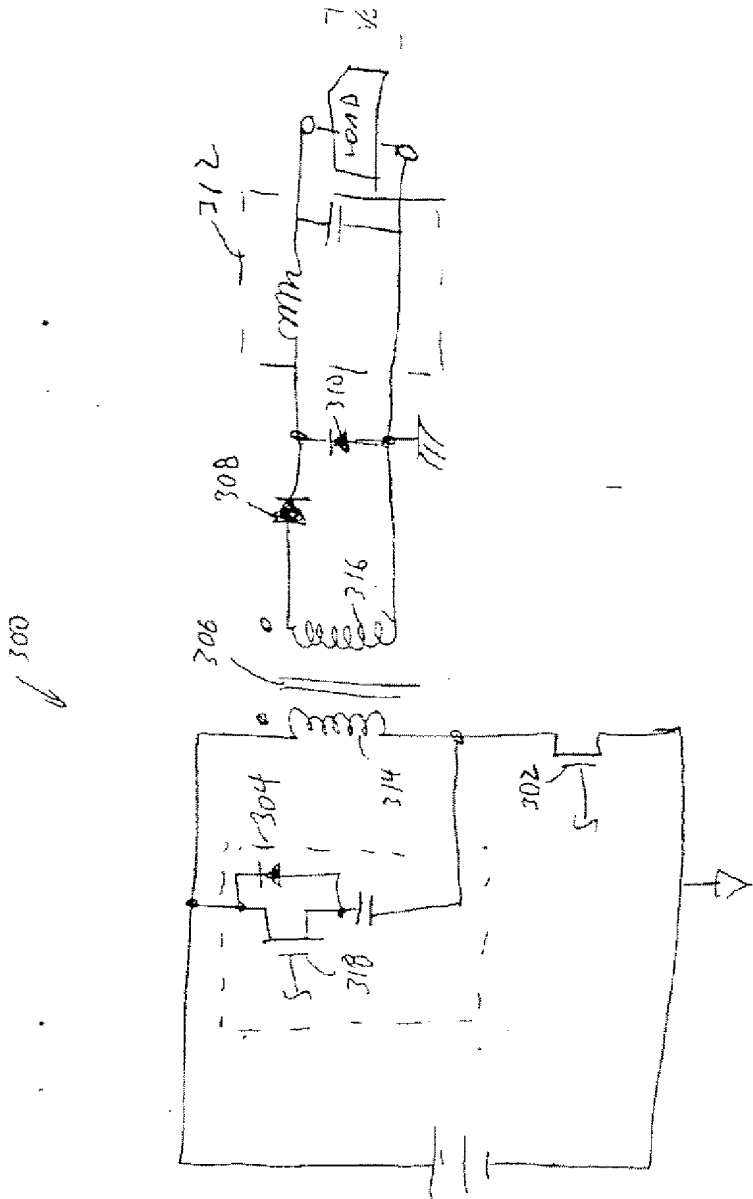


Figure 11

CONFIGURING POWER CONVERTERSAbstract

A method for use in determining a power converter configuration including receiving power converter
5 operating characteristic information, and, in a computer, determining alternative power converter configurations that are consistent with the operating characteristic information. The method also includes, in the computer, selecting one of the alternative power converter
10 configurations that tends to have optimal efficiency.

A method for use in determining a power converter configuration including receiving power converter operating characteristic information, receiving
15 optimization criteria, and, in a computer, determining alternative power converter configurations that are consistent with the operating characteristic information and selecting one of the alternative power converter configurations that tends to be optimal with respect to the optimization criteria.

20 A method for use in determining a power converter configuration including determining alternative power converter configurations that are consistent with operating characteristic information, calculating a combined heat loss for each of the alternative power
25 converter configurations, and selecting one of the alternative power converter configurations that tends to minimize the combined heat loss.

A method for use in determining a power converter configuration including receiving power converter
30 operating characteristic information, receiving selection criteria, and, in a computer, determining alternative power converter configurations that are consistent with the operating characteristic information and selecting one of the alternative power converter configurations in
35 response to the selection criteria.

A method of supplying a power converter including receiving, at a first party, operating characteristic

information about a power converter from a second party,
and, in a computer, determining a power converter
configuration that is consistent with the operating
characteristic information and tends to optimize the
5 power converter based on optimization criteria and
providing specifications for the determined power
converter configuration.

A system for use in determining a power converter
configuration including a program for determining a power
10 converter configuration that is consistent with operating
characteristics and tends to optimize the power converter
configuration based on optimization criteria, and a user
interface, coupled to the program, that receives the
power converter operating characteristics.

15 A method for use in determining a power converter
configuration including receiving, at a first party,
functional operating characteristic information about a
power converter and optimization criteria from a second
party, and, in a computer, accessing a power converter
20 generator that determines power converter configurations
that meet the functional operating characteristic
information and which determines and stores information
about each configuration with respect to the optimization
criteria. The method also includes in the computer
25 selecting one of the determined power converter
configurations that tends to optimize the power converter
configuration based on the optimization criteria,
providing specifications for the selected power converter
configuration to the second party, receiving, at the
30 first party, approval of the selected power converter
configuration from the second party, and delivering
fabrication information for the selected power converter
configuration to a manufacturing facility.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-94245

(43) 公開日 平成10年(1998) 4月10日

(51) Int.Cl.⁵
H 0 2 M 3/00
3/28

識別記号

F I
H 0 2 M 3/00
3/28
Z
F
Q

審査請求 未請求 請求項の数57 書面 外国語出願 (全 90 頁)

(21) 出願番号 特願平9-137396

(22) 出願日 平成9年(1997) 4月21日

(31) 優先権主張番号 08/635, 026

(32) 優先日 1996年4月19日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 592194727

ヴィエルティ コーポレーション
アメリカ合衆国 テキサス州 78230 サ
ンアントニオ アイ. エイチ. 10ウエスト
8 ス フロア 9901

(72) 発明者 スティーブン エヌ. モンミニ
アメリカ合衆国 マサチューセッツ州
01450 グロートン ウォレスロード 54

(72) 発明者 プライアン ジェイ. シェファー
アメリカ合衆国 マサチューセッツ州
01867 リーディング プレスコットスト
リート 91

(74) 代理人 弁理士 藤村 元彦 (外1名)

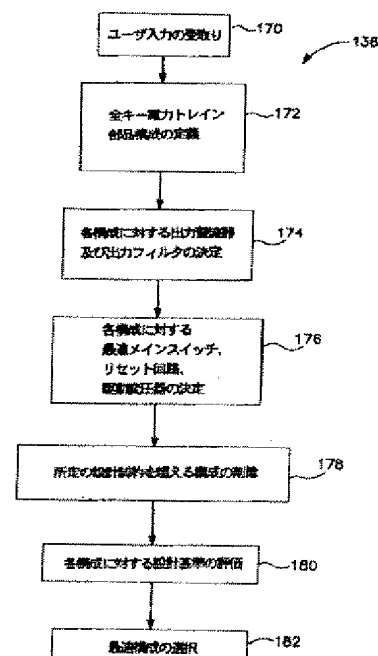
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電力コンバータの作製方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 事前構成コンバータモデルの提供にあたり、機能と物理的条件に応じて最適化された構成を得る。

【解決手段】 コンバータジェネレータ136は規則ベースのシステムであり、すべての電力コンバータ部品のデータベースを参照して条件を満たす最適構成を生成する。このとき、所定の設計制約を満たさないもの、たとえば各部品の最大電力定格を越える構成は破棄する。変換効率、故障許容性、価格、リードタイムといった設計基準も用い、ユーザによって定義された重みづけによって選択を行う。構成が選択されると、コンバータジェネレータは材料仕様書 (BOM) を生成してパーツ番号に割り当て、価格と供給日時を決定する。これに基づきユーザはパーツ番号と量を入力する。この情報は最利利用されて材料条件プランニング (MRP) システムや自動販売命令計画システム (AOSS) などで用いられる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 電力コンバータ構成を判別するとき使用する method であって、
電力コンバータ動作特性情報を受け取る行程と、
コンピュータにおいて、動作特性情報と一致する予備
(alternative) 電力コンバータ構成を判別する行程と、

最適効率を有する傾向のある予備電力コンバータ構成の
1つを選択する行程とからなることを特徴とする方法。

【請求項 2】 効率は電力コンバータ熱損失として測定
されることを特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】 電力コンバータ構成を判別するとき使用する
method であって、
電力コンバータ動作特性情報を受け取る行程と、
最適基準を受け取る行程と、
コンピュータにおいて、動作特性情報と一致する予備
(alternative) 電力コンバータ構成を判別する行程と、
最適基準に対して最適となる傾向のある予備電力コンバ
ータ構成の 1つを選択する行程とからなることを特徴と
する方法。

【請求項 4】 予備電力コンバータ構成を判別する行程
は、各予備電力コンバータに対する合成熱損失の計算を
含み、電力コンバータ構成の 1つを選択する行程は、最
小合成熱損失を有する構成の選択を含むことを特徴とす
る請求項 1 または請求項 3 記載の方法。

【請求項 5】 予備電力コンバータ構成を判別する行程
は、
各電力コンバータ構成に対する部品の相互作用を評価す
る行程をさらに含むことを特徴とする請求項 4 記載の方
法。

【請求項 6】 予備電力コンバータ構成を判別する行程
は、所定のセットの性能基準に基づいた各予備電力コン
バータ構成に対する性能基準の判別を含むことを特徴と
する請求項 3 記載の方法。

【請求項 7】 性能基準と最適化基準とは同一であるこ
とを特徴とする請求項 6 記載の方法。

【請求項 8】 判別された性能基準を記憶する行程をさ
らに含むことを特徴とする請求項 6 記載の方法。

【請求項 9】 測定され記憶された性能基準にアクセス
する行程をさらに含むことを特徴とする請求項 8 記載の
方法。

【請求項 10】 予備電力コンバータ構成を判別する行
程は、
所定の設計制約と不一致の電力コンバータ構成を除去す
る行程を含むことを特徴とする請求項 1 または請求項 3
記載の方法。

【請求項 11】 所定の設計制約は、電力消費しきい値
であることを特徴とする請求項 10 記載の方法。

【請求項 12】 予備電力コンバータ構成を判別する行

程は、

受け取った電力コンバータ動作特性情報と不一致の電力
コンバータ構成を除去する行程を含むことを特徴とする
請求項 1 または請求項 3 記載の方法。

【請求項 13】 最適化基準は、効率、信頼性、リード
タイム、伝搬ノイズ、価格のうちの少なくとも 1つを含
むことを特徴とする請求項 3 記載の方法。

【請求項 14】 最適化基準は、少なくとも 2つの基準
を含むことを特徴とする請求項 3 記載の方法。

【請求項 15】 電力コンバータ構成を判別するとき
使用する method であって、
動作特性情報と一致する予備電力コンバータ構成を判別
する行程と、
予備電力コンバータ構成の各々に対する合成熱損失を計
算する行程と、
合成熱損失を最小にする傾向のある予備電力コンバータ
構成の 1つを選択する行程とからなることを特徴とする
方法。

【請求項 16】 動作特性情報をユーザから受け取る行
程をさらに有することを特徴とする請求項 15 記載の方
法。

【請求項 17】 電力コンバータ構成を判別するとき
使用する method であって、
電力コンバータ動作特性情報を受け取る行程と、
選択基準を受け取る行程と、
コンピュータにおいて、動作特性情報と一致する予備電
力コンバータ特性を判別する行程と、
選択基準に回答して予備電力コンバータ構成の 1つを選
択する行程とからなることを特徴とする方法。

【請求項 18】 予備電力コンバータ構成を判別する行
程は、
パラメータ値の範囲を有する利用可能部品の目録から電
力コンバータ部品を選択する行程を含むことを特徴とす
る請求項 1、3、15、17 記載の方法。

【請求項 19】 前記範囲は 2つのパラメータ値からな
ることを特徴とする請求項 18 記載の方法。

【請求項 20】 電力コンバータ部品は、変圧器の多数
の 1次ターンを含むことを特徴とする請求項 18 記載の
方法。

【請求項 21】 電力コンバータ部品は、変圧器の多数
の 2次ターンを含むことを特徴とする請求項 18 記載の
方法。

【請求項 22】 電力コンバータ部品は、共振コンデン
サを含むことを特徴とする請求項 18 記載の方法。

【請求項 23】 電力コンバータ部品は、コアシールド
パターンを有する変圧器を含むことを特徴とする請求項
18 記載の方法。

【請求項 24】 電力コンバータ部品は、出力整流器を
含むことを特徴とする請求項 18 記載の方法。

【請求項 25】 電力コンバータ部品は、出力フィルタ

部品を含むことを特徴とする請求項 18 記載の方法。

【請求項 26】 電力コンバータ部品は、入力フィルタ部品を含むことを特徴とする請求項 18 記載の方法。

【請求項 27】 電力コンバータ部品は、メインスイッチを含むことを特徴とする請求項 18 記載の方法。

【請求項 28】 電力コンバータ部品は、駆動変圧器を含むことを特徴とする請求項 18 記載の方法。

【請求項 29】 電力コンバータ部品は、リセット回路部品を含むことを特徴とする請求項 18 記載の方法。

【請求項 30】 選択基準は、効率、信頼性、リードタイム、伝搬ノイズ、価格を含むことを特徴とする請求項 17 記載の方法。

【請求項 31】 別の選択基準を受け取る行程をさらに有し、電力コンバータ構成は、両選択基準に応じて選択されることを特徴とする請求項 17 記載の方法。

【請求項 32】 予備電力コンバータ構成を判別する行程は、性能基準の所定のセットに基づいて各予備電力コンバータ構成に対する性能基準を判別する行程を含むことを特徴とする請求項 17 記載の方法。

【請求項 33】 性能基準及び選択基準は、同一であることを特徴とする請求項 32 記載の方法。

【請求項 34】 判別された性能基準を記憶する行程をさらに含むことを特徴とする請求項 32 記載の方法。

【請求項 35】 判別されて記憶された性能基準にアクセスする行程をさらに含むことを特徴とする請求項 34 記載の方法。

【請求項 36】 予備電力コンバータ構成の選択されたものに対する材料仕様書を生成する行程をさらに含むことを特徴とする請求項 1, 3, 15, 17 記載の方法。

【請求項 37】 以前に受け入れた作動特性情報と一致するとともに初期に供給された電力コンバータと機能的に完全な互換性を有する電力コンバータ構成を判別する行程をさらに有することを特徴とする請求項 1, 3, 15, 17 記載の方法。

【請求項 38】 ユーザインターフェースをコンピュータに設ける行程をさらに有し、動作特性情報はユーザインターフェースを介して受け入れられることを特徴とする請求項 1, 3, 15, 17 記載の方法。

【請求項 39】 ユーザはカスタマであることを特徴とする請求項 38 記載の方法。

【請求項 40】 ユーザは電力コンバータの設計者であることを特徴とする請求項 38 記載の方法。

【請求項 41】 電力コンバータを供給する方法であって、

第 1 パーティで、第 2 パーティからの電力コンバータに関する動作特性情報を受け取る行程と、
コンピュータにおいて、動作特性情報と一致するとともに最適化基準に基づいて電力コンバータを最適化する傾向のある電力コンバータ構成を判別する行程と、
判別された電力コンバータ構成に対して仕様を提供する

行程とからなることを特徴とする方法。

【請求項 42】 第 1 パーティで、第 2 パーティからの最適化基準を受け取る行程をさらに有することを特徴とする請求項 41 記載の方法。

【請求項 43】 判別された電力コンバータ構成に対する材料仕様書を生成する行程をさらに有することを特徴とする請求項 41 記載の方法。

【請求項 44】 材料仕様書をコンピュータ搭載製造ラインに電子工学的に送ることを特徴とする請求項 43 記載の方法。

【請求項 45】 コンピュータ搭載製造設備において判別された電力コンバータ構成を組み立てる行程をさらに有することを特徴とする請求項 41 記載の方法。

【請求項 46】 判別された電力コンバータ構成に対する仕様を第 2 パーティに提供する行程をさらに有することを特徴とする請求項 41 記載の方法。

【請求項 47】 前記仕様は、判別された電力コンバータ構成に対する可用性情報を含むことを特徴とする請求項 41 記載の方法。

【請求項 48】 前記仕様は、判別された電力コンバータ構成に対する価格情報を含むことを特徴とする請求項 41 記載の方法。

【請求項 49】 コンピュータは、第 1 パーティに近接し、第 1 パーティで第 2 パーティからの電力コンバータに関する動作特性情報を受け取る行程は、第 1 パーティに近接する場所から離れた第 2 パーティに近接する場所からコン

ピュータのユーザインターフェースにアクセスする行程を含むことを特徴とする請求項 41 記載の方法。

【請求項 50】 電力コンバータ構成を判別するときに使用するシステムであって、
動作特性と一致するとともに最適化基準に基づいて電力コンバータ構成を最適化する傾向のある電力コンバータ構成を判別するプログラムと、
前記プログラムに接続されて電力コンバータ動作特性を受け取るユーザインターフェースとからなることを特徴とするシステム。

【請求項 51】 ユーザインターフェースも最適化基準を受け取ることを特徴とする請求項 50 記載のシステム。

【請求項 52】 前記プログラムを実行するコンピュータをさらに有することを特徴とする請求項 50 記載のシステム。

【請求項 53】 電力コンバータ構成を判別するときに使用するシステムであって、

第 1 パーティで、電力コンバータに関する機能的動作特性情報と第 2 パーティからの最適化情報とを受け取る行程と、

コンピュータにおいて、機能的動作特性情報を満たす電力コンバータ構成を判別するとともに最適化基準につい

ての各構成に関する情報を判別して記憶する電力コンバータジェネレータにアクセスする行程と、最適化基準に基づいて電力コンバータ構成を最適化する傾向のある判別された電力コンバータ構成の1つを選択する行程と、選択された電力コンバータ構成の仕様を第2パーティに提供する行程と、第1パーティで、第2パーティからの選択された電力コンバータ構成の承認を受け取る行程と選択された電力コンバータ構成に対する製造情報を製造施設に送る行程とからなることを特徴とする方法。

【請求項54】 第1パーティと第2パーティとの間の電気的接続を開始する行程と、

第2パーティから第1パーティに電気的接続を介して動作特性情報及び最適化基準を送る行程とをさらに有することを特徴とする請求項53記載の方法。

【請求項55】 製造情報から電力コンバータを組み立てる行程と、

電力コンバータを第2パーティに送る行程とをさらに有することを特徴とする請求項53記載の方法。

【請求項56】 前記承認を受け取る前に、第1パーティで、第2パーティからの別の動作特性情報を受け取る行程と、

コンピュータにおいて、別の動作特性情報と一致するとともに最適化基準に基づいて別の電力コンバータ構成を最適化する傾向のある別の電力コンバータ構成を判別する行程と、

判別された別の電力コンバータ構成に対する仕様を第2パーティに提供する行程とをさらに有することを特徴とする請求項53記載の方法。

【請求項57】 前記承認を受け取る前に、第1パーティで、第2パーティからの別の最適化基準を受け取る行程と、

コンピュータにおいて、動作特性情報と一致するとともに別の最適化基準に基づいて別の電力コンバータ構成を最適化する傾向のある別の電力コンバータ構成を判別する行程と、

判別された別の電力コンバータ構成に関する仕様を第2パーティに提供する行程とをさらに有することを特徴とする請求項53記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電力コンバータの作製に関する。

【0002】

【従来の技術】大抵、一連の所定電力コンバータ構成は、電力コンバータ製造業者によって供給される。例えばビカー（Vicor Corporation；登録商標）などの製造業者は、ユーザが指定した電力変換機能条件（例えば入出力電圧及び出力電力）及び物理的条件（ピンの個数及

びパッケージサイズ）を、コンバータの事前に構成された様々なモデル（例えば、電力変換器の「構成」は、所定の機能及び物理的条件を満たすコンバータとなる構成部品の予め決められた組合せである）によって提供される機能と比較し、ユーザの需要を満たす事前に構成されたモデルやその組合せを選択する自動選択システムを提供する。ユーザの需要を満たされなければ、ユーザは、条件の変化を通知して要求する。

【0003】カスタマが、製造業者の生産ライン内で事前検討されたモデルによって合わない特定の条件を備えた電力コンバータを必要とする場合、次に、基本方程式及び実験を使用する電力コンバータ設計者に、カスタマの需要を満たす電力コンバータ構成を設計するように頼む。一般に、機能及び物理的条件の特定のセットは、多数の異なる電力コンバータ構成によって満たされる。その結果、同一のカスタマ情報を備えた2人の設計者は、異なる電力コンバータ構成を考え出す。設計者は、通常、経験に基づき、全体として優れた性能（例えば高変換効率）を獲得しようとする。しかし、時間と資源との制約により、設計者は、限られた数の異なる設計を試すことしかできなかった。

【0004】ジェネラルエレクトリックコーポレーション（登録商標）は、スイッチング電源を構成するためにブレパッケージモジュール組立ブロックを提供している。各組立ブロック（例えば、整流器ブロック、スイッチブロック、出力フィルタブロック）は、スイッチング電源の一部を形成し、それぞれが様々な電圧及び電流定格で有効で、入力電圧、出力電圧、電流定格を変える電源を構成することができる。マイクロコンピュータ設置のソフトウェアパッケージは、接続されたときにユーザの機能条件を満たす電源となる組立ブロックを選択するときに、ユーザを支援する。ソフトウェアは、入力電圧、出力電圧、電力レベルの特定の組合せとなる所定のブロックを選択する。

【0005】能動または受動回路性能を最適化する数学的方法に関して多数の文献が存在する。一般に、これらの方法は、適切な回路や正確なモデルを説明し次に数学的最小化及び最大化法（例えば、最小2乗法、グラジエント計画法、最急降下法）を使用する対象となる機能を有することをあてにして、制約を受けながらも回路性能目的を獲得する単一の理論的に最適な解を見つける。最適化法は、SPICEなどの回路シミュレータとリンクされることがある。例えばル及びアダチの「AParameter Optimization Method for Electronic Circuit Design Using Stochastic Model Function」日本電子工学通信第3部第75巻第4号1992年第13頁乃至第25頁、ニ（Nye）等の「DELIGHT.SPICE: An Optimization-Based System for the Design of Integrated Circuits」IEEEトランザクションオン コンピュータエイドデザイン第7巻第4号1988年4月第501頁

乃至第 519 頁、イバノフ等の「Computer-Aided Optimization of the Parameters of Electronic Circuits」Telecommunications and Radio Engineering 第 2 部 (Radio Engineering) 第 26 巻第 11 号 1971 年 11 月第 124 頁乃至第 128 頁を参照のこと。

【0006】リニアテクノロジーコーポレーション (ミルピタス、CA、USA) は、スイッチャ CAD (SwitcherCAD) と呼ばれているソフトウェアベースの電源設計プログラムを提供する。ナショナルセミコンダクタコーポレーション (サンタクララ、CA、USA) は、シンブルスイッチャと呼ばれるソフトウェアベースの電源設計プログラムを提供する。両プログラムは、所定の機能仕様のセットを受け入れ、仕様を満たす電源のパーツリストと機構とを生成する。利用者は、異なるトポロジ (例えば、隔離されたフライバック、不隔離の PWM バック (buck)) に対する設計を生成することができる。プログラムのユーザは、部品の値と他の設計パラメータとを変更でき、性能に対する作用、例えば変換効率を観察できる。両プログラムは、解の生成用に所定の方程式を使用する。

【0007】

【発明の概要】本発明は、電力コンバータ動作特性情報を受け取る行程と、コンピュータにおいて、動作特性情報と一致する予備 (alternative) 電力コンバータ構成を判別する行程と、を含む電力コンバータ構成を判別するときに使用する方法に特徴を有する。この方法は、コンピュータにおいて、最適効率を有する傾向のある予備電力コンバータ構成の 1 つを選択する行程も含む。

【0008】本発明の実施は、以下の特徴を含む。効率は、電力コンバータ熱損失として測定される。本発明は、電力コンバータ動作特性情報を受け取る行程と、最適基準を受け取る行程と、コンピュータにおいて、動作特性情報と一致する予備 (alternative) 電力コンバータ構成を判別する行程と、最適基準に対して最適となる傾向のある予備電力コンバータ構成の 1 つを選択する行程とを含む電力コンバータ構成を判別するときに使用する方法に特徴を有する。

【0009】本発明の実施は、以下の特徴を含む。予備電力コンバータ構成を判別する行程は、各予備電力コンバータに対する合成熱損失の計算を含み、電力コンバータ構成の 1 つを選択する行程は、最小合成熱損失を有する構成の選択を含む。予備電力コンバータ構成を判別する行程は、各電力コンバータ構成に対する部品の相互作用を評価する行程と、所定のセットの性能基準に基づいた各予備電力コンバータ構成に対する性能基準の判別とをさらに含む。性能基準と最適化基準とは同一である。

【0010】本発明の方法は、判別された性能基準を記憶する行程と、測定され記憶された性能基準にアクセスする行程とをさらに含む。予備電力コンバータ構成を判別する行程は、所定の設計制約と不一致の電力コンバー

タ構成を除去する行程も含み、所定の設計制約は、電力消費しきい値である。予備電力コンバータ構成を判別する行程は、受け取った電力コンバータ動作特性情報と不一致の電力コンバータ構成を除去する行程を含む。

【0011】最適化基準は、効率、信頼性、リードタイム、伝搬ノイズ、価格のうちの少なくとも 1 つを含み、最適化基準は、少なくとも 2 つの基準を含む。本発明は、動作特性情報と一致する予備電力コンバータ構成を判別する行程と、予備電力コンバータ構成の各々に対する合成熱損失を計算する行程と、合成熱損失を最小にする傾向のある予備電力コンバータ構成の 1 つを選択する行程とを含む電力コンバータ構成を判別するときに使用する方法に特徴を有する。

【0012】本発明の実施は、以下の特徴を含む。本発明の方法は、動作特性情報をユーザから受け取る行程をさらに含む。本発明は、電力コンバータ動作特性情報を受け取る行程と、選択基準を受け取る行程と、コンピュータにおいて、動作特性情報と一致する予備電力コンバータ特性を判別する行程と、選択基準にตอบสนองして予備電力コンバータ構成の 1 つを選択する行程とを含む電力コンバータ構成を判別するときに使用する方法に特徴を有する。

【0013】本発明の実施は、以下の特徴を含む。予備電力コンバータ構成を判別する行程は、パラメータ値の範囲を有する利用可能部品の目録から電力コンバータ部品を選択する行程を含み、かかる範囲は、2 つのパラメータ値からなる。電力コンバータ部品は、変圧器の多数の 1 次ターンと、変圧器の多数の 2 次ターンとを含む。電力コンバータ部品は、共振コンデンサと、コアシールドパターンを有する変圧器と、出力整流器と、出力フィルタ部品と、入力フィルタ部品と、メインスイッチと、駆動変圧器と、リセット回路部品とを含む。選択基準は、効率、信頼性、リードタイム、伝搬ノイズ、価格を含み、本発明の方法は、別の選択基準を受け取る行程をさらに有し、電力コンバータ構成は、両選択基準に応じて選択される。

【0014】予備電力コンバータ構成を判別する行程は、性能基準の所定のセットに基づいて各予備電力コンバータ構成に対する性能基準を判別する行程を含み、性能基準及び選択基準は、同一である。本発明の方法は、判別された性能基準を記憶する行程と、判別されて記憶された性能基準にアクセスする行程とをさらに含む。

【0015】本発明の方法は、予備電力コンバータ構成の選択されたものに対する材料仕様書を生成する行程と、以前に受け入れた作動特性情報と一致するとともに初期に供給された電力コンバータと機能的に完全な互換性を有する電力コンバータ構成を判別する行程と、ユーザインターフェースをコンピュータに設ける行程とを含み、動作特性情報はユーザインターフェースを介して受け入れられる。ユーザはカスタマや電力コンバータの設

計者である。

【0016】本発明は、第1パーティで、第2パーティからの電力コンバータに関する動作特性情報を受け取る行程と、コンピュータにおいて、動作特性情報と一致するとともに最適化基準に基づいて電力コンバータを最適化する傾向のある電力コンバータ構成を判別する行程と、判別された電力コンバータ構成に対して仕様を提供する行程とを含む電力コンバータを供給する方法に特徴を有する。

【0017】本発明の実施は、以下の特徴を含む。本発明は、第1パーティで、第2パーティからの最適化基準を受け取る行程や、判別された電力コンバータ構成に対する材料仕様書を生成する行程をさらに含む。本発明の方法は、材料仕様書をコンピュータ搭載製造ラインに電子工学的に送る行程と、コンピュータ搭載製造設備において判別された電力コンバータ構成を組み立てる行程とをさらに含む。本発明の方法は、判別された電力コンバータ構成に対する仕様を第2パーティに提供する行程をさらに含み、前記仕様は、判別された電力コンバータ構成に対する可用性情報や価格を含む。

【0018】コンピュータは、第1パーティに近接し、第1パーティで第2パーティからの電力コンバータに関する動作特性情報を受け取る行程は、第1パーティに近接する場所から離れた第2パーティに近接する場所からコンピュータのユーザインターフェースにアクセスする行程を含む。本発明は、動作特性と一致するとともに最適化基準に基づいて電力コンバータ構成を最適化する傾向のある電力コンバータ構成を判別するプログラムと、前記プログラムに接続されて電力コンバータ動作特性を受け取るユーザインターフェースとを含み、電力コンバータ構成を判別するとき使用するシステムに特徴を有する。

【0019】本発明の実施は、以下の特徴を含む。ユーザインターフェースも、最適化基準を受け取る。本発明のシステムは、前記プログラムを実行するコンピュータをさらに含む。本発明は、第1パーティで、電力コンバータに関する機能的動作特性情報と第2パーティからの最適化情報とを受け取る行程と、コンピュータにおいて、機能的動作特性情報を満たす電力コンバータ構成を判別するとともに最適化基準についての各構成に関する情報を判別して記憶する電力コンバータジェネレータにアクセスする行程とを含む電力コンバータ構成を判別するとき使用する方法に特徴を有する。本発明の方法は、最適化基準に基づいて電力コンバータ構成を最適化する傾向のある判別された電力コンバータ構成の1つをコンピュータにおいて選択する行程と、選択された電力コンバータ構成の仕様を第2パーティに提供する行程と、第1パーティで、第2パーティからの選択された電力コンバータ構成の承認を受け取る行程と、選択された電力コンバータ構成に対する製造情報を製造施設に送る

行程とをさらに含む。

【0020】本発明の実施は、以下の特徴を含む。本発明の方法は、第1パーティと第2パーティとの間の電気的接続を開始する行程と、第2パーティから第1パーティに電気的接続を介して動作特性情報及び最適化基準を送る行程とをさらに含む。本発明の方法は、製造情報から電力コンバータを組み立てる行程と、電力コンバータを第2パーティに送る行程とをさらに含む。前記承認を受け取る前に、本発明の方法は、第1パーティで、第2パーティからの別の動作特性情報を受け取る行程と、コンピュータにおいて、別の動作特性情報と一致するとともに最適化基準に基づいて別の電力コンバータ構成を最適化する傾向のある別の電力コンバータ構成を判別する行程と、判別された別の電力コンバータ構成に対する仕様を第2パーティに提供する行程とをさらに含む。前記承認を受け取る前に、本発明の方法は、第1パーティで、第2パーティからの別の最適化基準を受け取る行程と、コンピュータにおいて、動作特性情報と一致するとともに別の最適化基準に基づいて別の電力コンバータ構成を最適化する傾向のある別の電力コンバータ構成を判別する行程と、判別された別の電力コンバータ構成に関する仕様を第2パーティに提供する行程とをさらに含む。

【0021】本発明の効果は、以下のことを含む。ユーザが機能及び物理的条件（例えば入出力電圧定格や電力レベル）及び選択基準（例えば効率や信頼性、価格）を指定した後、電力コンバータ設計及び材料仕様書（BOM）生成器（「コンバータジェネレータ」）は、ユーザの需要を満たすとともに指定された選択基準に対して最適化された電力コンバータ構成をユーザに提供する。コンバータジェネレータは、特定の設計制約及び部品可用性限界を満たす電力コンバータ構成を生成することによって、ユーザが指定した選択基準に対して最適となる構成を選択することによって、最適電力コンバータ構成をユーザに供給する。ユーザは、新しい選択基準や機能的物理的条件を指定するとともにコンバータジェネレータによって提供される新しい最適構成を分析することによって、構成フィードバック情報を受け取る。効率や伝搬ノイズレベルなどの異なる設計基準に対してコンバータジェネレータによって生成された各構成に対して計算された性能基準は、他の用途での仕様に仕様可能とすることができる。コンバータジェネレータは、部品の可用性や製造スケジュールデータへのアクセスによって「リアルタイム」で電力コンバータ構成をユーザに供給し、コンバータジェネレータは、正確な構成可用性データ（すなわち出荷時期）をユーザに提供する。

【0022】既存のカスタマは、所定期間に亘りある電力コンバータパーツ番号に対する注文をいれる。この期間の間に、コンバータジェネレータは、変化して改善された性能、或いはコンバータが構成されるパーツの補充

における応用を提供する。カスタマに対して最初に構成されたコンバータの動作特性に関する適切な情報を記憶することによって、コンバータジェネレータは、初期に提供されたユニットと互換性を有するユニットを供給することができる。

【0023】特定の最適電力コンバータ構成のユーザの承認を受けた後、材料仕様書（BOM）が自動的に生成される。BOMは、電子工学適にコンピュータ搭載の製造（CIM）所に送られ、ここで使用されて、製造ラインを選択して承認された電力コンバータ構成の組立を制御する。他の効果及び特徴は、以下の実施例の記載及び上述の請求の範囲の記載から明らかになる。

【0024】

【実施例】

電力コンバータの設計

図1に、モジュラDC-DCコンバータの分解図を示す。このタイプのコンバータは、多くの場合比較的小なる高密度パッケージの信号出力電圧を提供し、同様な構成の他のコンバータと他のアクセサリ製造物及び素子とを組み合わせ、「分配された電力」用途において頻繁に適用され、特定の用途に対してカスタマイズされた集中（centralized）電力システムを形成する。この電力システム設計に対する「電力素子」アプローチは、大なる柔軟性と、早い時間対市場（fast time-to-market）及び経済性を提供する。

【0025】一般に、所定の機能仕様（所定の出力電圧（例えば5V）で所定量の出力電力（例えば300W）を供給しながらも入力電圧の所定範囲（例えば180VDCから400VDCまで）に亘り動作する）を満たす多数のDC-DCコンバータ回路構成（例えば構成要素部品の組合せ）が存在する。しかし、構成が異なると、変換効率、価格、信頼性などの性能基準に関して異なる。コンバータの設計に従事する技師は、所定の機能条件を満足する初期の解を見いだすために知識と経験と解析とを組み合わせ使用。テストやシミュレーションに基づき、最初の設計は、「十分に優れたもの」となるまで、数回繰り返される。これは、一般に、所定の機能条件を満たすことに加えて、変換効率の最小値や最大価格などの性能基準も得られたことを意味する。時間及び資源の束縛や回路の相互作用の複雑さを与えると、技師にとって、「最適」解法を見つけたり、これらの解法を効率や価格などの1つ以上の基準に対してどのようにして最適に近づけるかを評価することは、通常は可能ではない。

【0026】現代の製造方法、装置及びシステムによって、電力コンバータは、フレキシブルで自動化された製造ラインの大きな容量で製造することができる。製造装置及びプロセスの汎用のセットの使用によって、事実上未制限の数の電力コンバータ構成を製造でき、各構成は、共通の構造及びパッケージング機構を共有するが、

機能的な仕様については他の構成とは異なっている（例えば、入力動作電圧の、出力電圧、出力電力の範囲）。

【0027】このように、現在の製造技術は、ユーザ定義の任意の機能仕様を満たし且つ1つ以上のユーザ指定性能基準について最適化されたコンバータ構成を高速で作製するために、リアルタイムで様々な種類の電力コンバータ構成を製造する能力を提供するが、有効ではない。このように、ユーザは、ユーザの要求に最も近い「事前構成」コンバータモデルの受け入れや、単一の機能的仕様を満たす電力構成を「カスタマイズ」するプロセスを実行する製造者を有することに関連した不確定さと長いリードタイム（leadtime）と非再考価格との受け入れの間で選択しなければならなかった。いずれにしても、ある構成がユーザに対して重要な特定の性能基準に対して最適化されていることを保証する手段が無かった。本発明の目的は、（最も近い事前構成モデルをユーザが受け入れることを必要とすることとは反対に）ユーザ定義の機能仕様の特定のセットを満たし、且つ効率、価格、信頼性などの他の性能基準に対しても最適化されたユーザ定義の機能仕様の特定のセットを満たす電力コンバータ構成を高速で製造する手段を提供することである。

【0028】付録Iを参照しながら、1の種類のモジュラ電力コンバータの構成及び動作を説明し、製造プロセス及びかかる製造プロセスにて使用される設備を説明する。例えば出力電圧、入力電圧、動作範囲、出力電力、最大ベースプレート動作温度（例えば、熱的シャットダウンが制御されて生じる温度）などの機能条件の特別なセットを満たすために、部品が、値の有効範囲から選択されてコンバータ構成を作製する。

【0029】複合部品相互関係は、効率、価格、リードタイム、信頼性などの構成に特定の設計基準に影響する。ある構成は最も効率が良いが、別の構成は最も信頼性が高くなる。ゼロ電流スイッチング順方向コンバータに対する部品相互作用の例として、メインスイッチに対する小なるON時間は、高いピーク共振電流と高調波損失、例えば変圧器のコア損失、巻回部損失、共振コンデンサ損失につながる。コア損失を減らすために（すなわち、効率を増大せしめるために）、変圧器の漏れインダクタンスを増やすことによって、メインスイッチのON時間を長くし、ピーク共振電流は低減される。これは、最初のターン比を一定に維持しながらも1次及び2次ターン数を増やすことによって行われる。巻回部の損失は、ターン数の増加によって増加するが、巻回部の損失が他の高調波損失が減少する量まで増加すれば、作用は、損失における減少である（すなわち、効率の増加）。

【0030】図6を参照すると、コンピュータ集積製造（CIM）システム130は、特定の機能条件を満たし且つユーザの指定した設計基準に対して最適化された電

力コンバータ構成を生成する。最適化は、数学的または理論的に理想的な回路の解を意味するものではない。むしろ、限定制約を受けた最も有効な解を含むことを意味する。コンバータ構成を生成するとき、例えば、限定制約は、コンバータを組み立てる際に有効な製造プロセスのセットと、コンバータでの使用のために製造中に選択されたり作製されるパーツや部分値 (part values) の範囲とを含む。このように、「最適化」と言うとき、限定制約を被る構成のセットを最初に生成し且つ機能特性の所定のセットを満たす方法を含む。次に、生成されたセット構成で取捨選択して、定義された最適化基準に対して最良の性能を提供する構成を選択する。システムは、リアルタイムで出力を生成し (例えば、結果は1日や1週間単位ではなく分単位や時単位で利用される)、故に、従来の技師設計プロセスに関係したリード時間を省略する。

【0031】ユーザ (クライアント) のコンピュータ 132 で走るソフトウェアは、設計支援コンピュータ (DAC、サーバ) 134 で走るソフトウェアとインターフェースし、入力スクリーン 135 (図7) を介して、ユーザは、選択された設計基準に対して電力コンバータ機能条件及び基準を入力することができる。ユーザの入力は、コンバータ設計及び材料仕様書 (BOM) 生成プログラム 136 (コンバータジェネレータ) に通過される。ユーザは、カスタマ、コンバータ製造の販売代表者、マーケティング、用途、エンジニアリング、及び製造者、コンバータ設計技師を含む。

【0032】コンバータジェネレータ 136 は、規則及び式に基づいたシステムである。全ての有効な電力コンバータ部品のデータベース (例えば、製造プロセスに利用できまたは製造プロセスによって作製される全部品) を使用して、コンバータジェネレータは、ユーザの機能的条件を満たす電力コンバータ構成を生成する。これを行う際、ジェネレータは、機能的条件を満たすことができない、または所定の設計制約を満たさない構成を破棄する。例えば、コンバータジェネレータは、各部品に対する所定の最大電力消費しきい値を越える構成を破棄する。コンバータジェネレータは、効率、信頼性、価格、リードタイムを含む構成の設計基準の各々も計算し、ユーザによって定義された重み付き基準のセットに対して各構成の基準を比較することによって最適構成を選択する。例えば、変換効率が最適化すべき唯一の設計基準であるとユーザが指定すれば、コンバータジェネレータは、最大効率構成を選択する。

【0033】ユーザは、新たな機能条件を入力したり、または異なる設計基準や設計基準の組合せを選択する。各入力変化に対して、コンバータジェネレータは、可能な構成の全てを生成し、所定の設計制約に合わないものを捨て、ユーザにパーツ番号及び価格を提供し、ユーザの選択した設計基準について最も最適な構成に相当する

データを提供する。機能条件及び選択された設計基準の変化は、ユーザに、各コンバータ設計決定に関する相互作用フィードバックを提供する。

【0034】例えば、ユーザは、特定の機能条件を入力し、最適化の設計基準として効率を選択し、次に、選択された設計基準を信頼性に変え、価格を比較して結果としての2つの構成に相当するデータを供給する。または、ユーザは、変換効率 (例えば、入力源から引き出されて負荷に供給される電力の百分率) に対してさらに電力密度 (例えば、コンバータによって占められる容量によって分割されるコンバータの最大電力定格) に対して最適化された構成を比較することを望む。何となれば、これらの2つの基準は、通常反対の関係を呈するからである (部分的に、高密度パーツ (例えば小巻回部、小半導体ダイ面積、または2、3のダイ) は、ある条件の下に熱として多くの電力を消費する比較的高オーミック抵抗を呈するからである)。

【0035】例えば、製造業者は、パッケージサイズ及び供給される最大電力量に関して互いに異なる3つのコンバータ生産ファミリ (例えば、4.88W/cm³ (1立方インチ当たり80ワット) の電力密度で、「マイクロ」パッケージは100Wまで供給し、「ミニ」パッケージは200Wまで供給し、「マキシ」パッケージは400Wまで供給する) を提供するものと仮定する。カスタマが、200Wを給電する解を捜している場合、コンバータジェネレータによって生成された最も有効構成は、電力共有アレイと同期して各々が100Wを給電する2つの「マキシ」生産物を含む (例えば引例として取り込んだ米国特許第4,648,020号及び5,079,686号参照)。

【0036】一方、最高電力密度構成は、完全200Wを給電する単一の「ミニ」生産体である。「マキシ」の解は、「ミニ」の解の電力密度の4分の1とより多い価格とを呈するが、優れた変換効率を提供する。ユーザが故障許容解 (例えば、「N+1」故障許容解が、単一のコンバータの故障などの故障の単一点が完全定格電力で電力システムの動作を遮断するものの1つである) を調べようと決めた場合、次に、コンバータジェネレータは、ユーザの主たる基準が効率、電力密度、価格を含むか否かに応じて3つの異なる解を提示する。例えば、最高効率解は、故障許容性同期電力共有アレイにそれぞれが100Wを供給するように見積もられた3つの「マキシ」変換器を含む (例えば米国特許第5,079,686号参照)。最低価格解は、故障許容性電力共有アレイに200Wを給電するように各々が見積もられた2つの「ミニ」コンバータを含む。最大電力密度解は、故障許容性電力共有アレイに100Wを給電するように各々が見積もられた3つの「マイクロ」コンバータを含む。もちろん、仮想的には無制限の方法があり、これによって、ユーザは、効率、電力密度、価格、伝搬ノイズ、故障許

容性などの異なる設計基準や、最適化基準としての基準の組合せを選択する相互作用効果を調べることができる。ユーザの機能条件を満たす多数の構成を生成し、複数の異なる設計基準に対する各構成の性能を計算するので、様々な有効な情報を、他の用途での使用に対してジェネレータから有効とすることができる。例えば、図1に示すタイプのコンバータは、コンバータによって生成される伝搬ノイズの量が重要となる用途において大抵いつも使用される。これは、大抵の電力システムが、伝搬放出に制限を設定する規定基準（例えば、通常モードや共通モードの量、周波数の関数としてコンバータの入力や出力接続に反射されて戻る電圧や電流）を満たさなければならないからである。コンバータの内部物理的配置は明確なので、コンバータの入力及び出力接続部に現れる通常モード及び共通モードの妨害量が見積もられる（例えば、使用される部品、動作周波数及び周波数範囲、スイッチング素子及び整流器の寄生インピーダンス、コンバータ内の主たる信号路内の寄生インピーダンスと部品との間の寄生容量の特定の組合せに基づいて）。一旦計算されると、この情報は様々な方法で使用される。

【0037】例えば、ユーザは、最適効率や電力密度に基づいた構成を選択したと仮定する。コンバータの伝搬ノイズ性能に関する情報は、ユーザ、または別の自動設計システムによって使用されて、伝搬妨害条件の所定のセットを満たすことを許容している入力源フィルタを設計したり選択したりする。または、ユーザは、システム全体のサイズや効率に関するトレードオフの調査を希望する（すなわち、システムが、コンバータや外部伝搬妨害フィルタ、関連するユーティリティソースインターフェース回路の組合せからなる場合）。例えば、最大効率コンバータは、比較的小なる内部入力フィルタ素子を組み込んでこれらの素子内部の損失を最少にしている。しかし、これは、外部ノイズフィルタリング素子の物理的の大きさと内部の電力損失との両方を増やす傾向がある。様々な異なるコンバータ構成を使用することによって、ユーザ（または生じたノイズや所望のシステムノイズ性能に基づいてフィルタ及び関連する回路素子を設計したり選択したりする付随のソフトウェアシステム）は、システム全体のサイズや電力密度、効率を最適化する。一般に、様々な設計基準に対して異なる構成がどのように奏するかに関する情報は、関連するシステム設計や最適化課題を実行するときに、ユーザによってまたはコンピュータベースの自動化システムによって使用される。

【0038】構成が一旦選択されると、コンバータジェネレータは、材料仕様書（BOM）を生成してパーツ番号に割当て、価格及び供給日時を決定する。パーツ番号、価格及び供給日時は、DACインターフェースを介してユーザに送られ、ユーザの機能条件とともに記憶される。所定期間（例えば60日）内に注文をするため

に、ユーザは、供給すべきコンバータのパーツ番号と量とを入力し、記憶された情報は取り戻され、BOMは再生されて材料条件プランニング（MRP）システム138に送られる。MRPシステムは、パーツ番号に相当する引用を生成し、引用待ちライン（quote queue）140に引用をログする。この情報は、命令執行器（order administrator）142に送られる。命令執行器は、引用待ちラインの相当する引用から命令を生成し、引用を削除し、命令ログ144の命令をログし、自動販売命令計画システム146（AOSS）に通知する。AOSSは、製造ライン計画及び能力へのアクセスと、（ストックと命令とにおける）素子の可用性、命令待ちライン、現在の命令に対応したBOMとを有する。AOSSは、最終の供給速度を生成し、製造ライン計画に命令を入れ、供給速度をユーザに向けてDACインターフェースを介して送る。命令執行器は、優先命令として命令を作り、AOSSに、その日のうちに組み立てる順序を計画させる。

【0039】マルチセルプログラマ（MCP）と呼ばれるソフトウェアシステム148に、各日に組み立てられるために計画された順序が知らされる。MCPは、各命令の組立に必要な全エンジニアリング及び製造データの完全さと矛盾の無いことを照合する。エンジニアリングデータの一例として、全表面実装部品に対する配置座標は、部品が置かれるPCBのエンジニアリングデータベースにおいて定義される必要がある。製造データの一例として、MCPは、特定のピック及び配置位置に置かれた全表面実装部品は、配置を行う装置の部品棚にロードされる。誤りデータや不正ラインセットアップなどの、命令を組立から妨害する例外状態が存在すれば、MCPは、例外状態が修正されるまで命令を組み立てずに命令をホールド状態にすることを表示する。

【0040】MCPは、命令状態を監督制御システム（SCS）150に送る。SCSは、命令154のリスト（図8）及び命令の状態をオペレータに表示するビデオディスプレイスクリーンを含む。部品が無ければ、または、あるワークセルの非可用性によってある命令が組立を妨害する場合、これらの状態は、SCSによって組立不能として指摘される。必要な部品やワークセルが次々と利用可能になるとき、MCPは、命令の状態を組立不能から組立可能に変化する。

【0041】MCPが命令が組立可能であると照合するとき、MCPは、命令に対するアセンブリ指示ファイルを生成し、次に、これは、ラインで生産物の製造を開始する適切な候補（発送）であると考えられる。アセンブリ指示ファイルは、BOMと、モジュール仕様と、印刷回路基板部品配置座標と、部品テスト仕様と、サブアセンブリグラフィックスとを含む。次に、製造ライン70は、アセンブリ指示ファイルを使用して、対応する命令を組み立てる。

【0042】特定のパーツ番号に対するカスタマの最初の命令が製造されると、構成に関連したキー機能パラメータが、コンバータのパーツ番号と関連して、後の仕様に備えて記憶される。これは、特定のカスタマが長期に亘るある電力コンバータモデル（例えばパーツ番号）に対する命令を置くが故に行われる。この期間の間、改善された性能を提供するために、またはコンバータが構成されるパーツの補充での変形により、コンバータジェネレータは変化する。（例えば、ある部品は、例えば部品の改良や劣化により他のものに置換される）。カスタマに対して最初に構成されたコンバータの動作特性に関する適切な情報（例えば、ゼロ電流スイッチングコンバータ用の、変圧器の巻回比、2次反射漏れインダクタンスの値、共振容量の値）を記憶することによって、コンバータジェネレータは、初期に供給されたユニットと機能的に完全な互換性を有するユニットを供給することができる。

【0043】コンバータ設計とBOMジェネレータ
図9を参照すると、コンバータ設計及びBOMジェネレータ（コンバータジェネレータ）136（図6）は、DACインターフェースからの機能条件及び選択された設計基準を含むユーザ入力を受け取る（ステップ170）。機能条件は、入力電圧範囲と、出力電圧と、出力電力と、最大ベースプレート動作温度とを含み、一方、選択可能設計基準は、効率と、価格と、リードタイムと、信頼性を含む。機能条件を使用すると、コンバータジェネレータは、全てのキー電力トレイン部品構成を生成する（ステップ172）。キー電力トレイン部品は、変圧器T1:24（図10）の1次及び2次巻回部 N_p 、 N_s のターン数と、2次反射漏れインダクタンス（ L_{lk_s} ）（「漏れインダクタンス」と称す）と、共振容量（ C_r ）とを含む。巻回比（ $N_p/26/N_s/28$ ）は入力及び出力電圧の関数となり、漏れインダクタンスは2次巻回部のターン数の関数となり、共振容量は、巻回数の比と、出力電力と、漏れインダクタンスとの関数になる。

【0044】次に、コンバータジェネレータは、キー電力トレイン部品の各構成に必要な出力フィルタ（ L_{out} 40、 C_{out} 42）と出力整流器（DFWD 32、DFW 34）とを決める（ステップ174）。リセット回路22における部品の選択、駆動変圧器T_D 20、メインスイッチQ1 18、変圧器の磁化インダクタンスの許容値T1は、互いに依存している。結果として、各構成に対して、コンバータジェネレータは、上記部品の可能な（且つ有効な）組合せを生成して（ステップ176）評価し、最も電力消費量が少ない組合せ（すなわち、最適効率）を判別し、その組合せを構成に加える。

【0045】コンバータジェネレータは、所定の設計制約を越えた電力コンバータ構成を破棄する（ステップ178）。例えば、部品が所定の電力消費しきい値を越え

る電力を消費する構成は、破棄される。各部品に対する最大電力消費しきい値は、部品の規格、部品及びシステムの熱インピーダンス、コンバータの最大ベースプレート温度規格の規格の関数になる。次に、コンバータジェネレータは、各構成に対する設計基準を評価し（ステップ180）、各構成の基準をユーザによって定義された重み付き基準と比較することによって、最も適切な構成を選択する。

【0046】図11乃至図14を参照すると、ユーザの入力を受け取った後（ステップ170）、コンバータジェネレータは、変圧器T1の1次及び2次巻回部の可能な全組合せを最初に判別する（ステップ192）ことによって、キー電力トレイン部品構成190を定義する（ステップ172）。コンバータジェネレータは、入力電圧範囲に対して1次ターンの個数（ N_p 、第196欄）を判別する（ステップ194）によって始まる。設計制約表197に記憶されたターン値当たりの所定の最大及び最小ボルト V_{in}/N_p が使用されて、変圧器T1に対する1次ターンの範囲が選択される。1次ターン当たりの最大ボルトは、最大コア損失と最小巻回部損失とを生成する。1次ターン当たりの最小ボルトは、最小コア損失と最大巻回部損失とを生成する。

【0047】異なる個数の1次ターンの各々に対して、コンバータジェネレータは、次に、1次（ N_{Vcc_p} 、第203欄）及び2次（ N_{Vcc_s} 、第204欄）補助巻回部205、206（図10）のターン数をそれぞれ計算する（ステップ202）。補助巻回部は、1次及び2次制御回路208、209に給電するために使用される。補助巻回部は、変圧器T1の1次ターン N_p の個数と必要な制御回路電圧とに対して計算される。

【0048】異なる個数の1次ターンの各々に対して、コンバータジェネレータは、1次ターンの個数とユーザが指定した出力電圧との関数として2次ターン（第211欄）の個数も計算する（ステップ210）。コンバータジェネレータは、2次ターンの2番目に大なる個数も選択する。例えば、2次ターンの数が1、5ターンで計算される場合、担持ボビン2、3は、表199から選択される。その結果、異なる数の1次ターンに対して、2次ターンが選択される（ $N_s(1)$ 212及び $N_s(2)$ 213は $N_p(1)$ に相当し、 $N_s(3)$ 214及び $N_s(4)$ 215は $N_p(2)$ に相当する）。

【0049】各2次巻回部に対して、設計ジェネレータは、各々の値が変圧器T1で使用されるコアの異なる銅シールドパターンに相当する3つの異なる2次漏れインダクタンス値218を計算する。各シールドパターンは、シールドによってカバーされるコアの表面積の大きさに関係する対応する漏れインダクタンス因子 ALK （ナノヘンリ／（ターン数）²）を有する。漏れインダクタンスは、2次ターンの数にも関係する。コアシールドパターンを備えた漏れインダクタンスの制御の詳細は、

「Transformer with Controlled Interwinding Coupling and Controlled Leakage Inductances and Circuit Using Such Transformer」と題された米国特許願第07/759,511号、及び引例に取り込まれている「Plating Permeable Cores」と題された米国特許願第08/563,230号を参照せよ。柔軟性を備えるために、シールドパターンは有効に作製され、漏れインダクタンスの3つの対応する値は、1次及び2次ターンの選択された組合せの各々に対して計算される。

【0050】コンバータジェネレータは、変圧器のターン数の比(N_p/N_s)及び1次対2次ダンピング係数の関数として、共振コンデンサ C_r (36、図10)に加えられる電圧を計算する。ダンピング係数は、 $L_{lk_s}-C_r$ 回路と直列の抵抗部品の関数である。例えば、抵抗部品は、印刷回路基板の配線抵抗、変圧器の抵抗、共振コンデンサの等価直列抵抗(ESR)を含む。

【0051】このとき、コンバータは、(コンバータ出力電力の所定値と最大コンバータ動作周波数227の所定最大及び最小限界値とに基づいて)1次及び2次巻回部の各組合せに関連する漏れインダクタンスの各値に対する共振コンデンサの値を計算する。しかし、実際の問題として、この方法で計算された値は、最終的には実施不能な構成(例えば、これらの値は、最大入力電圧及び負荷電力での共振電流のゼロクロスを提供するものではない)になることが多い。故に、計算時間を制限し且つ異質の構成の生成を最小にする手段として、別の対策が取られる。各ターン比に対して、コンバータジェネレータは、最大コンバータ動作周波数の所望の最低及び最高限界(例えば600KHz及び1.2MHz)と最大コンバータ出力電力とに基づいて単に必要とされる共振容量 C_r (第228欄)の近似値を判別する(ステップ226)。最大コンバータ出力電力及び最大コンバータ動作周波数の最低限界は、動作サイクル当たりのエネルギーの上限を定義するために使用される。これは、次に、

(例えば、動作サイクル当たりのエネルギーが $[1/2] \cdot [C \cdot V_p^2]$ となる近似(但し V_p は動作サイクル中にコンデンサに印加されるピーク電圧である))を使用して容量の値に対する上限を計算するために使用される。同様に、最大コンバータ動作周波数の上限は、動作サイクル当たりのエネルギーの下限を定義するために使用され、これは、次に、容量の値の下限を計算するために使用される。この手段によって、共振容量の最小及び最大値は、各ターン比に対して計算される。さらに、最小値と最大値との間の値を段階的に有する複数(例えば4つ)の共振コンデンサの値も選択される(C_r の値の20%の増加は $L_{lk_s}-C_r$ 回路の共振周波数の10%の変化になる)。このように、各ターン比に対して、全部で6つの共振容量の値が選択される(例えば $C_r(1)-C_r(6)$ 、229-234)。

【0052】コンバータジェネレータは、共振コンデン

サ(すなわち漏れインダクタンスの各値に対する)を介してピーク電流を計算し且つこの値を所定最大DC出力電流(例えば、コンバータ出力電圧 V_{out} によって割られたコンバータ最大出力電力定格 P_{out})と比較することによって、ゼロクロス基準に対する電力トレイン構成の各々をチェックする(ステップ242)。共振電流のピーク値がゼロクロスの獲得と一致すれば、コンバータジェネレータはこの構成を残す。

【0053】構成が除去されないとき、電力トレイン構成は最大数となる。上記例において、1次ターンの各個数に対して、最大36の構成が生成される。1次ターンの各値は、2つの2次ターンと、(各2次ターンに対して)3つの漏れインダクタンス値と、共振コンデンサの6つの値とを有する。このように、8つの異なる1次ターンボビンが選択される場合、キー電力トレイン部品の最大288の構成(36×8)が生成される。

【0054】全ての実行可能なキー電力トレイン部品を定義した後(ステップ172、図9)、コンバータジェネレータは、各構成によって必要とされる出力整流器

(DFW及びDFWD、第244、246欄)と出力フィルタ部品(L_{out} 及び C_{out} 、第248、250欄)を決める(ステップ174)。最小電圧定格出力整流器は、ターン比及び出力電力に関して選択される(ステップ252)。出力フィルタ部品(L_{out} 及び C_{out})は、

(1) 出力容量が、(出力電圧の定義された値に対して有効な容量の最大値と生産物に置かれるコンデンサの全個数とに基づいて)コンバータ出力リップルを最小にする手段として使用され、(2) L_{out} は、 C_{out} と組み合わせられて、制御ループ帯域の所望且つ所定の値と一致する出力フィルタブレーキポイント周波数になるように選択される(ステップ254)。

【0055】電力トレイン部品を与えると、様々な動作条件での変換周波数は計算されて、電力消費計算での今後の使用に対して記憶される。動作周波数は、エネルギーが変圧器T1の1次巻回部から2次巻回部に転送されるレートである。動作周波数は、3つの異なる動作条件で評価される。すなわち、3つの動作条件は、1) L L F L : 低ライン、全負荷(最小入力電圧、最大出力電力)、2) H L F L : 高ライン、全負荷(最大入力電圧、最大出力電力)、3) N L N L : 公称ライン、公称負荷(入力電圧範囲の50%、最大出力電力の75%)である。

【0056】(キー電力トレイン部品、出力整流器、出力フィルタ部品を含む)各電力トレイン構成に対して、次に、コンバータジェネレータは、メインスイッチ(Q1、第256欄、図15及び図16)、(Q_{reset} 257、 C_{reset} 258、第259、260欄を含む)リセット回路、駆動変圧器T_D 20、磁化インダクタンス(L_{mag}) 266のどの組合せが電力消費量を最小とするか(すなわち、効率に関して最適となるか)を判別す

る（ステップ 176）。電力消費を計算するとき、伝搬損失及びスイッチング損失の両方が考慮される。スイッチング Q_1 （PSW）による電力損失は、 $[(Q_1) \times (\text{ドレイン対ソース電圧}(V_{C_oss})) \times (\text{動作周波数}(f_c))]$ の 2 分の 1 に等しい。すなわち、 $PSW = 1/2 C_{oss} V_{C_oss}^2 f_c$

である。理想ゼロ電圧スイッチングにて、 V_{C_oss} がゼロスイッチング損失（PSW）となるゼロであるとき、 Q_1 がスイッチされる。

【0057】各メインスイッチ、リセット回路、駆動変圧器の組合せに対する実際のスイッチング損失を正確に測定するために、 V_{C_oss} 及び C_{oss} （これは V_{C_oss} の関数である）は、 Q_1 がオンとなるときに正確に計算される必要がある。オフになる Q_{reset} とオンになる Q_1 との間の時間（ τ_{ZVS} ）は、MOSFET スイッチ Q_1 の C_{oss} をゼロ V に非消散的に（non-dissipatively）放電させる T_1 の磁化電流に対して許容される時間量である。 Q_1 がオンとなる時間で V_{C_oss} がゼロであれば、回路は、「ゼロ電圧スイッチング」を行うと言われる。

【0058】 τ_{ZVS} は、2 つの異なる C_{oss} 放電速度を有する 2 つの異なる回路状態に相当する 2 つの時間間隔 t_1 、 t_2 を含む。時間間隔 t_1 は、磁化インダクタンス（ L_{mag} 266）と 1 次反射漏れインダクタンスとの両方が C_{oss} の放電速度に寄与する期間に相当し、時間間隔 t_2 は、1 次漏れインダクタンスのみが放電に寄与してより遅い C_{oss} 放電速度となる期間に相当する。 t_1 及び t_2 の間のクロスオーバーは、 T_1 の 1 次巻回部 N_p の電圧がゼロに落ちるとともに DFW が順方向バイアスになって L_{mag} を短絡する時間に相当する。

【0059】各コンバータ構成に対して電力消費量が最小となる駆動変圧器の組合せと Q_1 とリセット回路とを決めてこの組合せをコンバータ構成マトリックスに加えた後（ステップ 176）、コンバータジェネレータは、所定の設計制約を越えた構成を削除する（ステップ 178、図 9）。1 実施例において、コンバータジェネレータは、各構成の電力消費が最悪の場合を計算し（ステップ 178'、図 13）、この値を、最大ベースプレート動作温度のユーザ指定値に関連する電力消費しきい値と比較する。低ベースプレート動作温度は、高電力消費しきい値に相当する。コンバータジェネレータは、最大消費しきい値を越える最悪電力消費を有する構成を破棄する。コンバータジェネレータが、（電力消費などの）所定の設計制約の全てを満たす構成が無いと判定すれば、コンバータジェネレータは、次の近似機構を使用して、対策を有する最初の使用に最も近い制限を判別する。

【0060】1 つ以上の構成が前のステップを通過すれば、コンバータジェネレータは、効率（Eff、第 268 欄）とリードタイム（LT、第 270 欄）と価格（第 272 欄）と信頼性（故障の間の平均時間 MTBF、第

274 欄）とを含む構成の設計基準の各々を評価し（ステップ 180）、ユーザが選択した設計基準に対して最適となる構成を選択する（ステップ 182）。1 の実施例において、ユーザは効率設計基準を指定し、コンバータジェネレータは、NLNL での構成の各部品の電力消費を計算して次にこれらの値を加算することによって、各構成の効率を計算する（ステップ 476）。コンバータジェネレータは、次に、最大効率構成を選択する。1 の設計基準を選択する代わりに、ユーザは 2 つ以上の設計基準の重み付き組合せを選択する。例えば、ユーザは、効率に 80% の重みを付け且つ価格に 20% の重みを付けて指定して、コンバータジェネレータにユーザの機能条件に合うとともに効率の観点では最大 20% の構成の中で費用効果性の観点では最大 80% の構成を選択させる。

【0061】コンバータジェネレータは、次に、有効入力インダクタ及び入力コンデンサの表 280 から入力フィルタ部品を計算して選択し（ステップ 278）、これらの部品を選択された構成に加える。例えば、入力フィルタ部品は、例えば定ブレーキポイント周波数を 20 KHz とするように選択され、または、定減衰量を 1 MHz で 40 dB としたり、定パーセンテージの入力反射リップル電流を提供するように選択される（例えば、コンバータによって引き出される DC 入力電流の百分率として示されるコンバータの入力部におけるピーク対ピーク電流の変化）。ユーザには、例えば 60 dB の別の減衰を求めたり、コンバータの価格や入力反射リップル電流特性を変更する手段として別の入力フィルタ部品を選択する能力が与えられている。

【0062】コンバータジェネレータは、次に制御回路部品の表 283 から制御回路 44（図 1 及び図 9）部品を選択し（ステップ 282）、材料仕様書（BOM）を生成する（ステップ 284）。コンバータジェネレータは、構成をパーツ番号に割当て、構成価格を計算し、ユーザによって指定されたコンバータの量に基づいて供給日数を見積もる。コンバータジェネレータは、この情報をユーザに対して DAC 134（図 6）及び MRP システム 138 を介して送る。

【0063】他の実施例

他の実施例も、本発明の請求の範囲内にある。例えば、ユーザによって入力されるさらなる機能条件は、入力リップル／ノイズレベル、出力リップル／ノイズレベル、動作周波数範囲、過渡応答を含み、電力密度などの他の最適化基準も使用される。

【0064】他の実施例として、1 のマザーボード（図 1）に替えて、マルチマザーボードが利用でき、異なる物理的サイズの電力コンバータに相当する。ユーザは、コンバータジェネレータが特定の構成を特定サイズのモジュールパッケージにはめ込むことを指定したり、コンバータがはめ込まれた最小のパッケージにパッケージさ

れることを要求する。

【0065】本発明の用途は、ゼロ電流でスイッチングする順方向コンバータに制限されず、任意の種類の電力コンバータに適用できる。例えば、図17に示すように、コンバータは、一定周波数で動作するとともにメインスイッチ302と米国特許第4,441,146号に記載された能動リセット回路304と変圧器306と整流ダイオード308とフリーホイーリングダイオード310と出力フィルタ312とからなるパルス幅変調順方向コンバータ300である場合、コンバータジェネレータは、利用可能な変圧器の1次316及び2次318ターン及びターン比と、メインスイッチ302のゼロ電圧スイッチング動作から生じる効率への磁化電流の衝撃

(すなわち、米国特許第4,441,146号に教示される、メインスイッチのターンオン時間とリセットスイッチ318のターンオフ時間との間に導入される小遅延による)と、メインスイッチのスイッチング損失を含む高調波損失における一定動作周波数の作用とに基づいて、構成を生成する。概して、引用された全因子は、ある程度互いに相互に作用し合い、全てが、電力密度、変換効率、価格、信頼性、パッケージ密度を含む様々なコンバータ性能基準に作用する。

【0066】付録1

DC-DCコンバータの一例を図1、図2、図10に示す。図において、ゼロ電流スイッチング単一終端順方向電力コンバータ(zero-current switching single ended forward power converter)10は、DC入力電圧

(V_{in})を調整DC出力電圧(V_{out})に変換する。入力電圧は、漏れインダクタンス変圧器(T1)24の1次巻回部26及びメインスイッチ18(Q1)によって形成される直列回路に印加される前に、入力インダクタ14(L_{in})及び入力コンデンサ16(C_{in})を含む、入力フィルタ12を通過する。各コンバータ動作サイクルの間に、メインスイッチ18は、ゼロ電流のときに開閉される。これは、DC入力源から、変圧器24及び共振コンデンサ36(C_r)によって形成される共振回路を介してコンバータ出力に転送される「エネルギー」になる。エネルギー流は、順方向整流器32(DFW)により一方である。出力インダクタ40(L_{out})は、

「電流シンク」負荷として動作して、実質的なDC出力電圧 V_{out} を生成する出力フィルタから出力インダクタ及び出力コンデンサ42(C_{out})の組合せ、共振コンデンサからエネルギーを放出する。フリーホイーリングダイオード34(DFW)及びブーストスイッチ49が使用されて、(1)共振コンデンサが負の電圧に充電されることを防止するために、さらに、(2)動作サイクル中に順方向に転送されるエネルギー量を制御する(さらにコンバータの動作周波数を制御する)ために、共振コンデンサの充電を制御する。1次及び2次制御回路(モールドされた制御アセンブリ44に含まれる)は、入力電圧及び

負荷が変化するとき、電力コンバータの動作周波数(例えば1秒当たりの動作サイクル数)を制御することによって V_{out} を所定値に維持する。リセット回路22も、モールドアセンブリ44内に含まれ、補助スイッチ(Q_{reset})と直列のリセットコンデンサ(C_{reset})を含み、「磁化電流ミラー」として動作し、各動作サイクルの間に変圧器のコアをリセットする。制御回路は、メインスイッチQ1を駆動変圧器20(TD)を経てオン・オフする。

【0067】ゼロ電流スイッチング単一終端順方向電力コンバータの詳細な説明は、引用として取り入れられている、米国特許第4,415,959号「Forward Converter Switching at Zero Current」、米国特許第4,675,797号「Current-Fed Forward Converter Switching at Zero Current」、米国特許第5,235,502号「Zero Current Switching Forward Power Conversion with Controllable Energy Transfer」、米国特許出願第08/187,296号「Power Conversion in Anticipatory Reverse Boost Mode」に見られる。制御回路の詳細な説明は、引用として取り入れられている、米国特許第5,490,057号「Feedback Control System Having Predictable Open-Loop Gain」、米国特許出願第08/077,011号「Power Converter Configuration, Control, and Construction」を参照のこと。リセット回路の詳細な説明は、引用として取り込まれている、米国特許第4,441,146号「Optimal Resetting of the Transformer's Core in Single Ended Forward Converters」、米国特許出願第08/373,112号「Control of Stored Magnetic Energy in Power Converter Transformers」を参照のこと。

【0068】コンバータの構成を図1に示す。メインスイッチ18は、(出力性隆起32,34などの)他の熱生成半導体と同様に、メタルベースプレートアセンブリ48に実装されている。メインスイッチ18の入力・出力パッド及び出力整流器32,34は、マザーボード50の対応するパッドに電気的に接続され、残りの電力コンバータ部品は、マザーボードの配線によって互いに電気的に接続されている。フェンス52,54は、マザーボードの配線に電気的に接続されて、ステップコンバータカバー60の孔58を介して延在するピン56によってコンバータへの外部からの電気的接続を提供している。電力コンバータの詳細な説明については、引例として取り入れられている米国特許第5,365,403号「Packaging Electrical Components」を参照のこと。

【0069】図3乃至図5を参照すると、電力コンバータ製造ライン70は、制御アセンブリ44(図1)を組み立てるコントローラアセンブリライン72を含む。コントローラアセンブリラインのハンダステーション74では、ハンダペーストが、コントローラ印刷回路基板(PCB)の所定の位置に供給される。ピック及びブレ

イスステーション76では、コントローラ電気部品が、有効部品ストックから選択されて所定の位置に置かれる。部品は、置く前に測定され、これら部品の測定値が使用されて、コンバータに組み込まれる他の部品の値を計算する。例えば、計算値が使用されて、抵抗器のブランクをレーザトリミングして、コンバータ出力電圧の所望値を正確に設定するために必要な正確な値の抵抗器を提供する。この手段によって、抵抗器ブランクのリールを使用して仮想的に無制限の数の抵抗値を生成する。部品ブランク構成の詳細な説明については、米国特許第5,443,534号「Providing Electronic Components for Circuitry Assembly」を参照のこと。

【0070】ロードされたコントローラPCBは、ハンダペーストをリフローする炉78を通過する。次に、PCBアセンブリはテストされて、故障を有していると判定されたPCBは破棄される。残りのPCBは、モールドステーション80を通過し、ここで、1次及び2次コントローラセクションはモールド化合物に包まれる。コントローラをマザーボード50に接続する入出力パッドを含むPCBの各々の一部は、露出したままに残される。モルディングプロセスの詳細な説明については、引用に取り入れられている米国特許出願第08/340,162号「Circuit Encapsulation」を参照のこと。

【0071】次に、第1及び第2コントローラハーフは、分けられて、サイドバイサイド(side-by-side)構成(44、図1)に1つに固着される。モールド制御アセンブリのセットは、温度サイクル・電気試験ステーション82に挿入されて、ステーションの温度の増減に応じて試験される。故障した制御アセンブリは破棄される。

【0072】PCBの各モールド対は、マザーボードアセンブリステーション84でマザーボード50(図1)に取り付けられて固定される。次に、アセンブリ行程中に他の部品をホールドする表面実装エポキシは、エポキシステーション86で所定のマザーボードの位置に供給される。変圧器アセンブリ及びテストステーション88にて、コアハーフ及び巻回ボビンは、使用可能なストックから選択され、変圧器T124(図1)を組み立てるために使用される。変圧器の磁化インダクタンスは、自動インダクタンス設定ユニットにて正確に調整され、変圧器はマザーボードの上に置かれる(さらに、表面実装エポキシにて所定位置に保持される)。インダクタンス設定プロセス及び設備の詳細な説明は、米国特許出願第08/347,874号「Setting Inductance Value of Magnetic Components」を参照のこと。ピック及び配置ステーション90は、Cr、Cout、Cinを含むさらなる部品を選択し、視覚システムによって部品ピンとマザーボードの対応する孔とのアライメントを取り、残りの所定マザーボードの位置に部品を挿入する。

【0073】次に、マザーボードは、ハンダステーション92のハンダ槽を通過する。ハンダ槽からのハンダは、ハンダは、マザーボードの孔と、孔に差し込まれた部品ピンとの間を電氣的に接続する。ハンダ槽の詳細な説明は、引用として取り込まれている米国特許出願第08/420,553号「Soldering」を参照のこと。ターミナルブロックアセンブリステーション94にて、フェンス52,54(図1)は、マザーボードにハンダ付けされる。特定のコンバータモデル用の電力半導体装置の正しい補充を含むベースプレートは、ベースプレートアセンブリライン96によって供給されて、ターミナルブロック・ベースプレートアセンブリステーション98にてフェンス及びマザーボードの組合せに装着される。シールステーション108にて、シール剤がベースプレートの端部110(図1)に沿って置かれ、ハンダステーション112において、ハンダが、メインスイッチの入出力パッド及び出力整流器に供給される。マザーボードがベースプレートに接続された後、マザーボードの電気パッドが、これらの入出力パッドにハンダ付けされる。カバー60(図1)も、アセンブリステーション98にてマザーボード及びベースプレートに実装される。ベースプレートの組立方法の詳細な説明は、引例に取り込まれている、米国特許出願第08/382,676号「Flowing Solder in a Gap」、米国特許出願第08/523,873号「Packaging Electrical Circuits」を参照のこと。

【0074】カバーをベースプレートに取り付けた後、カバーとベースプレートとの間の空洞は、エンカプセルステーション114にて包装材で充填される。空洞の充填方法の詳細な説明は、引例に取り入れられている米国特許出願第08/582,634号「Filling of Assemblies」を参照のこと。次に、アセンブリは炉116に運ばれて充填材が硬化される。次に、コンバータは、最終のテストステーション118に運ばれて、カスタムに向けて搬送される。

【0075】マイクロフィルム付録IIへの引用

4つのマイクロフィルムカードの216のマイクロフィルム画像からなるコンバータジェネレータによって使用される法則、方程式、表を含むマイクロフィルム付録がここにある(複数の表に記憶されている値は、表への掲載の替わりにコンバータジェネレータによって計算される)。

【0076】本発明の開示の一部は、著作権の保護に係る材料を含む。著作権者は、本発明の複写再生に異議を持たない。何となれば、これは特許庁の特許ファイルや記録に現れるからである。しかし、それ以外は、著作権は正当に維持されている。

【図面の簡単な説明】

【図1】電力コンバータの分解斜視図である。

【図2】図1の電力コンバータの構成図である。

【図 3】電力コンバータの製造ラインの構成図である。
 【図 4】電力コンバータの製造ラインの構成図である。
 【図 5】電力コンバータの製造ラインの構成図である。
 【図 6】コンピューター体化製造システムの構成図である。
 【図 7】コンピュータスクリーンの表示の一例を示す。
 【図 8】コンピュータスクリーンの表示の一例を示す。
 【図 9】図 6 のコンバータ設計及び BOM ジェネレータの動作を示すフローチャートである。
 【図 10】図 1 及び図 2 の電力コンバータの回路図である。
 【図 11】図 6 のコンバータ設計及び BOM ジェネレータの動作を示すフローチャートである。
 【図 12】図 6 のコンバータ設計及び BOM ジェネレータ

タの動作を示すフローチャートである。

【図 13】図 6 のコンバータ設計及び BOM ジェネレータの動作を示すフローチャートである。

【図 14】図 6 のコンバータ設計及び BOM ジェネレータの動作を示すフローチャートである。

【図 15】電力コンバータ構成のマトリックスの一部を示す図である。

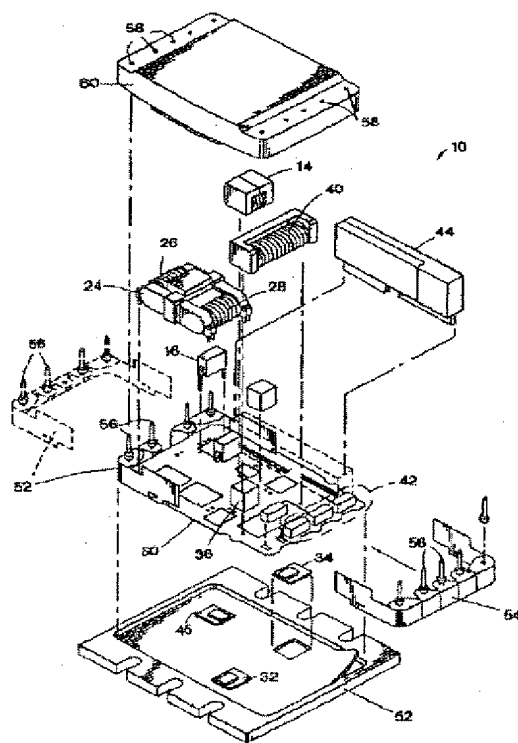
【図 16】電力コンバータ構成のマトリックスの一部を示す図である。

【図 17】パルス幅変調順方向コンバータの構成図を示す。

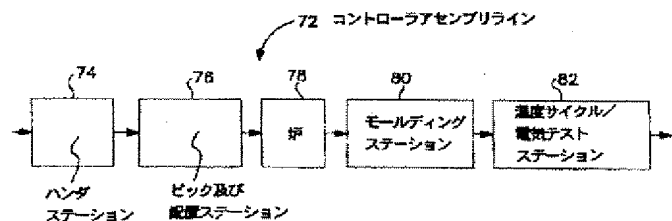
【符号の説明】

10 電力コンバータ

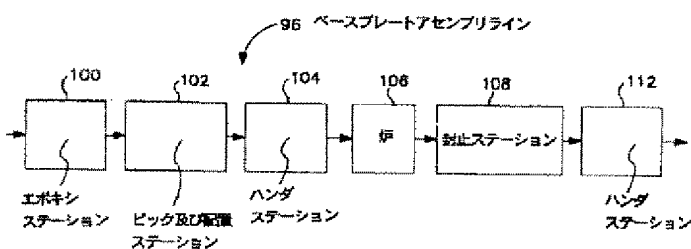
【図 1】



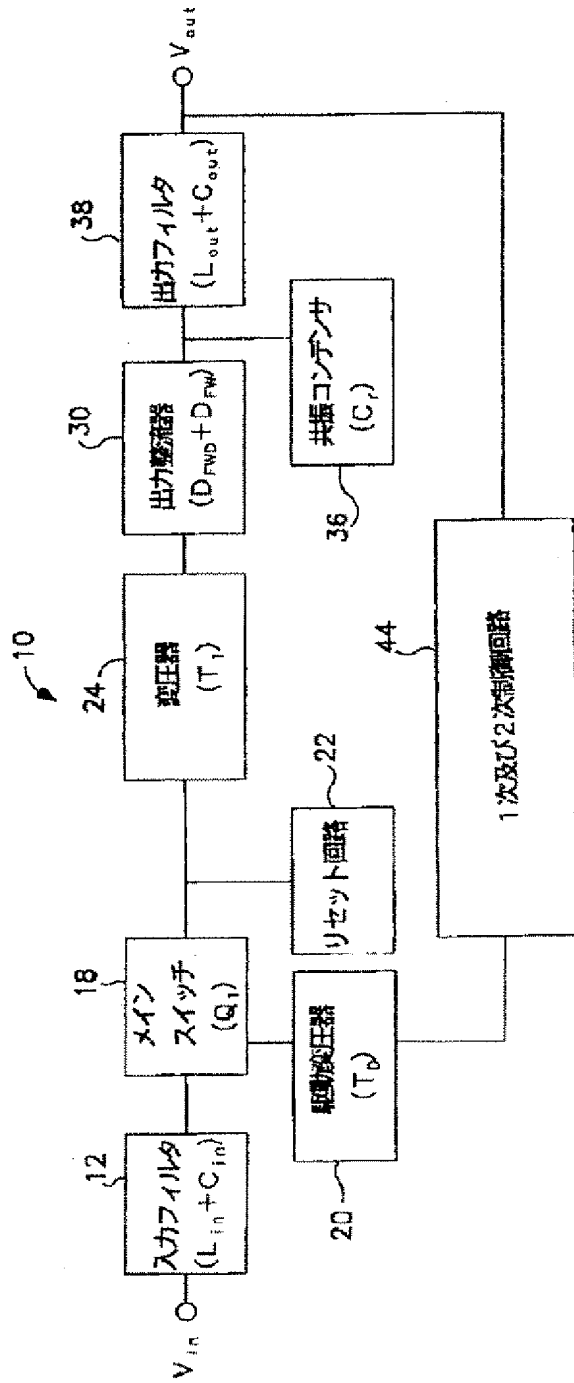
【図 4】



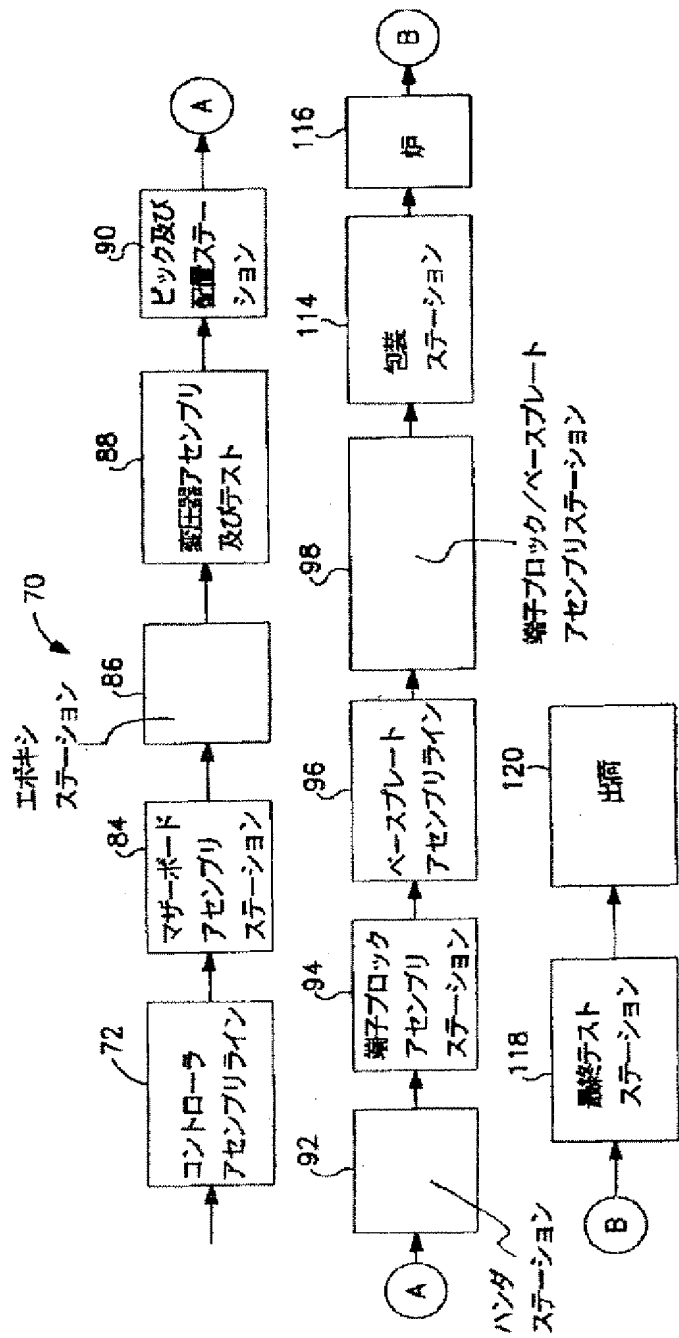
【図 5】



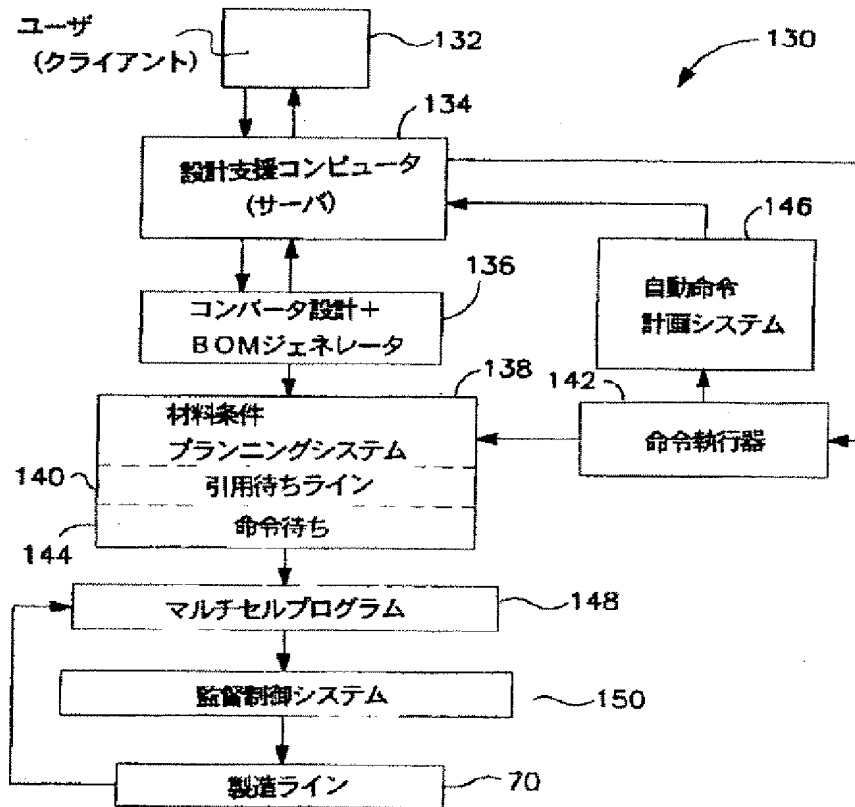
【図2】



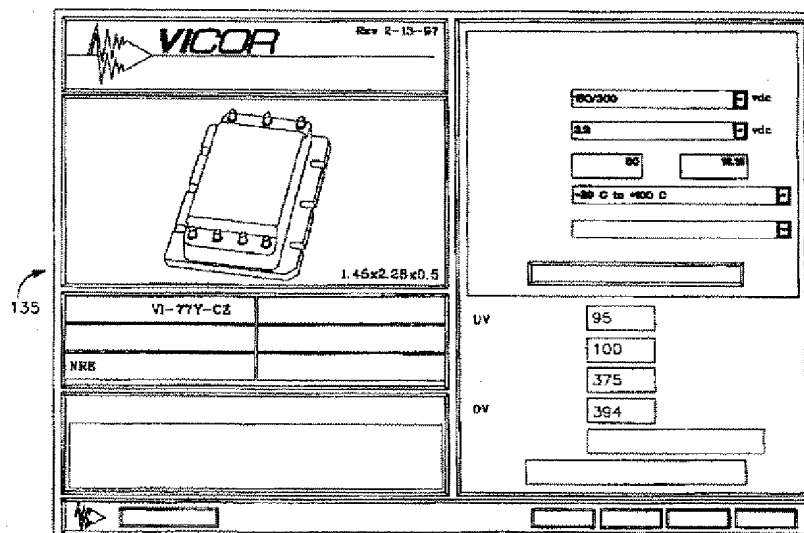
【図3】



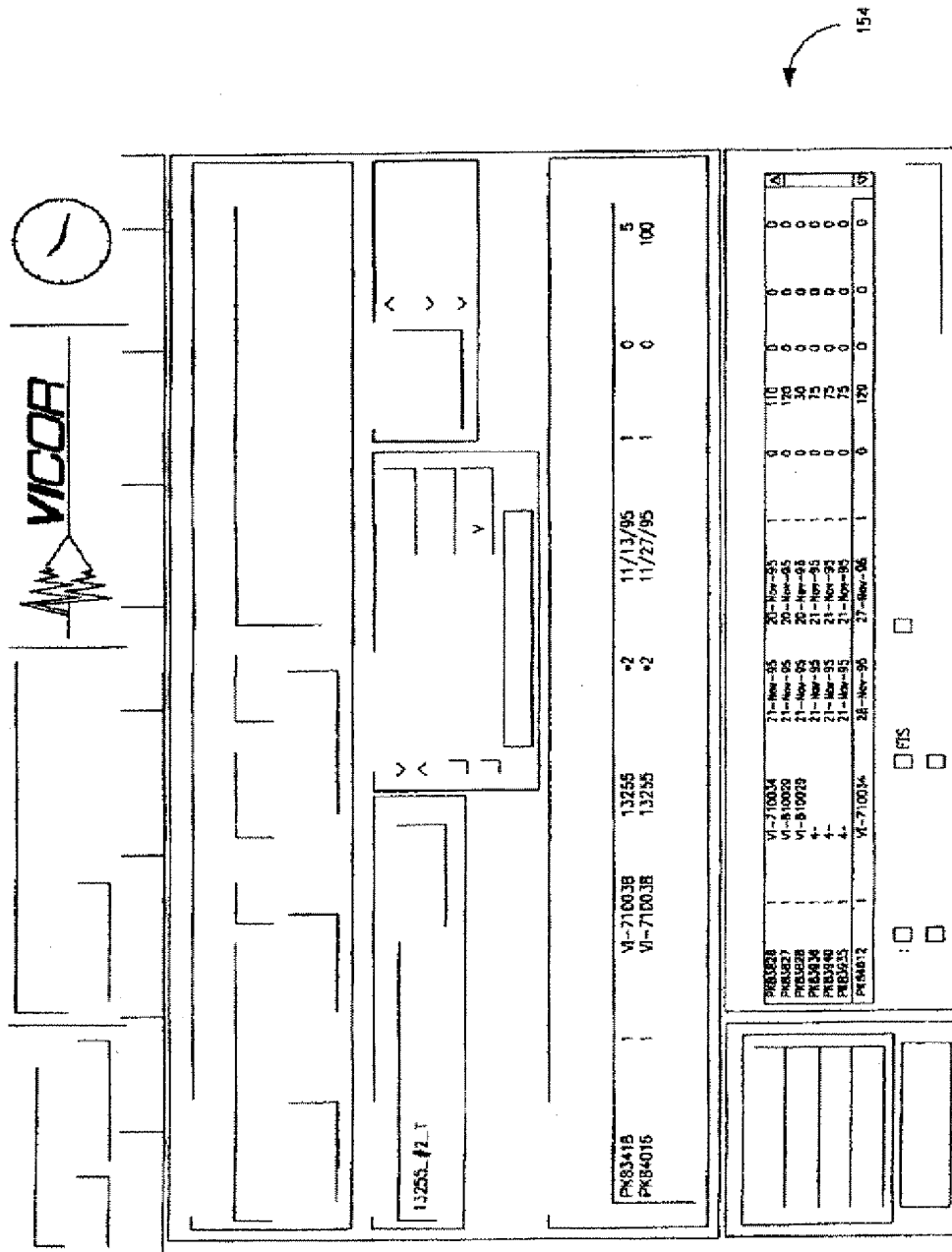
【図6】



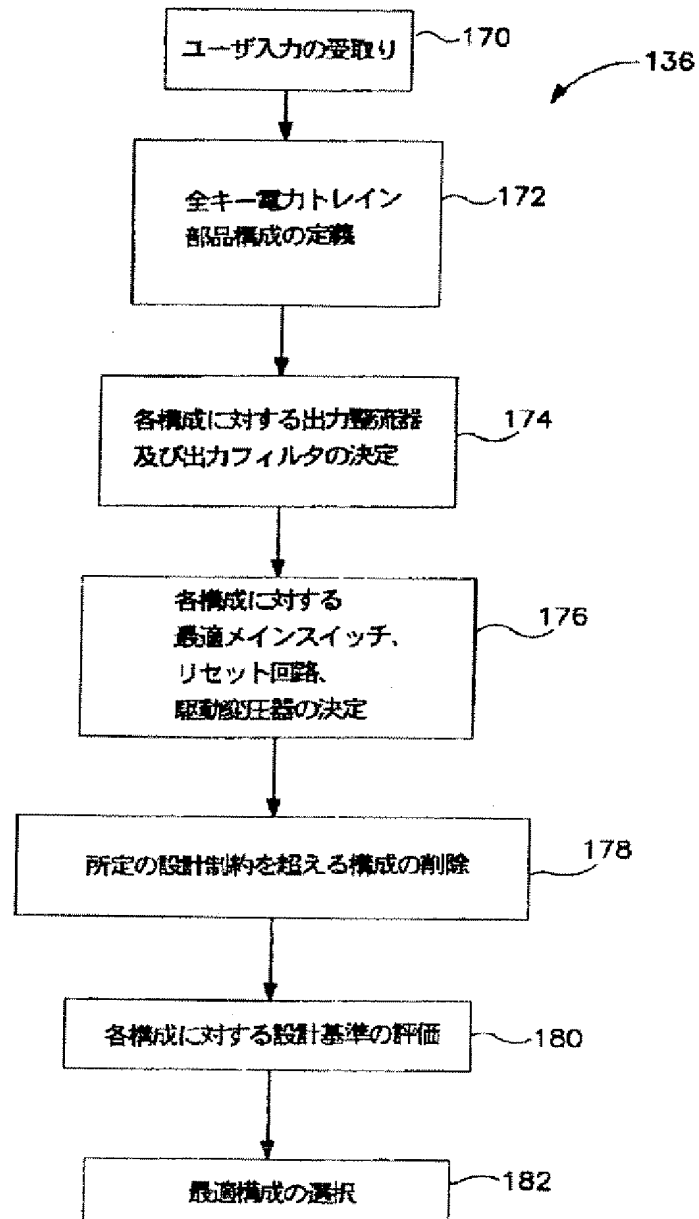
【図7】



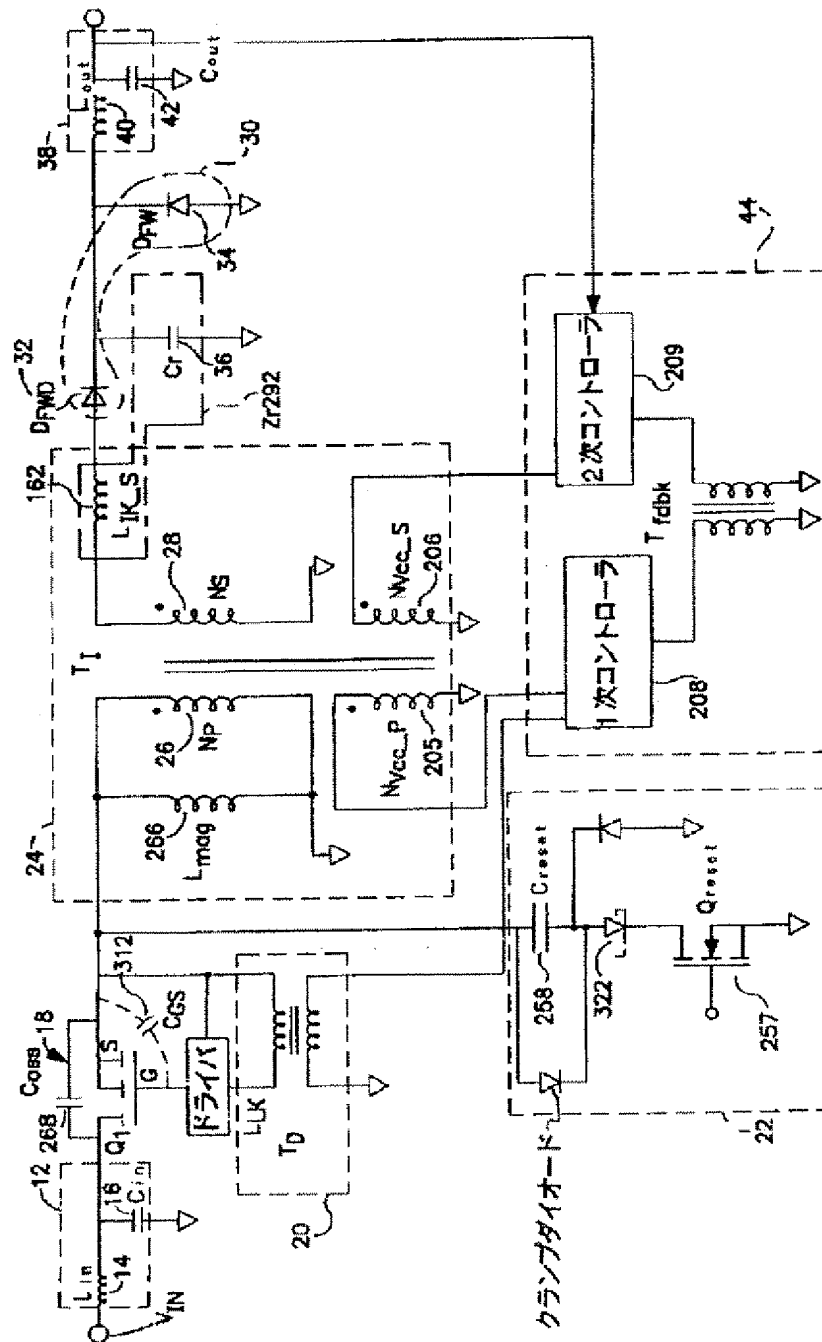
【图 8】



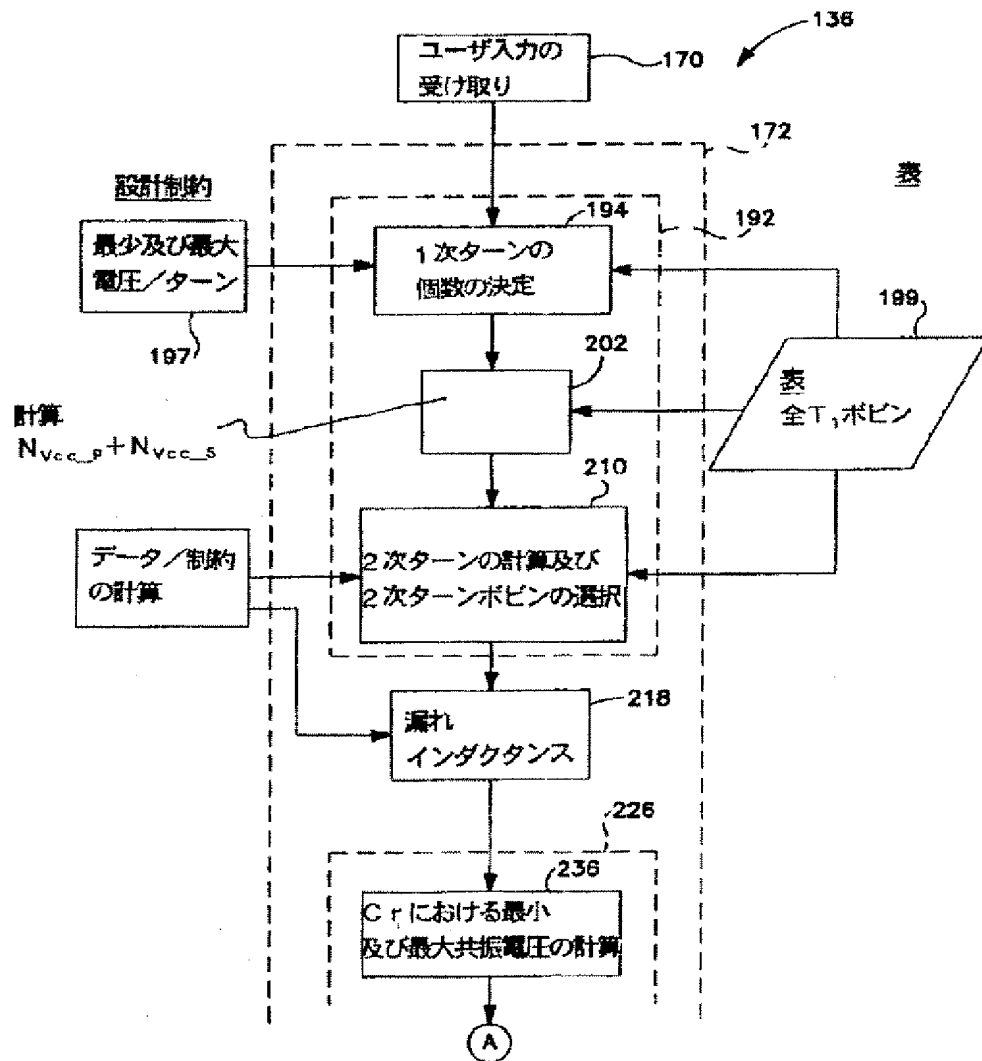
【図 9】



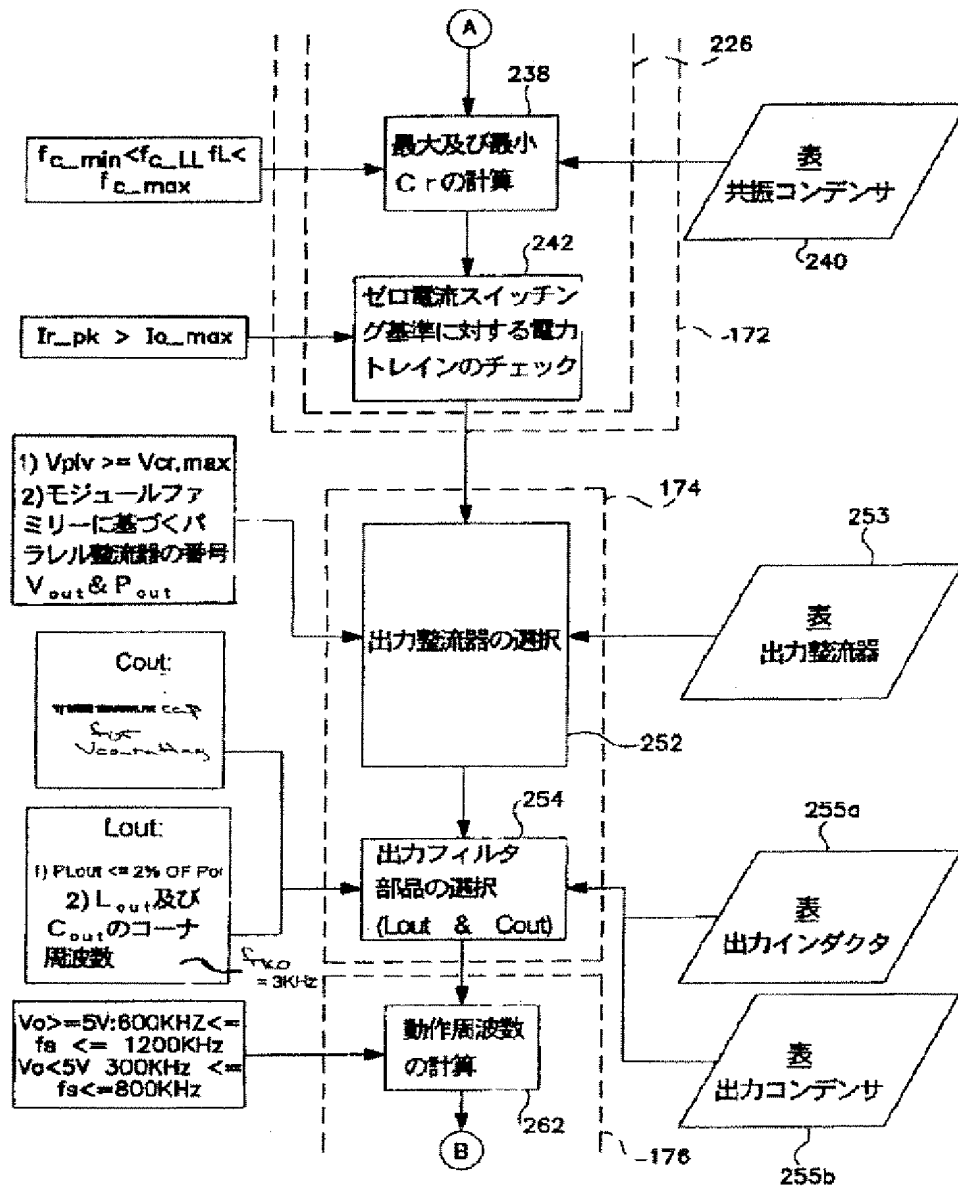
【図 10】



【図11】



【図12】



```

graph TD
    B((B)) --> D[D]
    B --> G[G]
    D --> G
    G --> C((C))

    subgraph 264 [ ]
        D
        G
    end

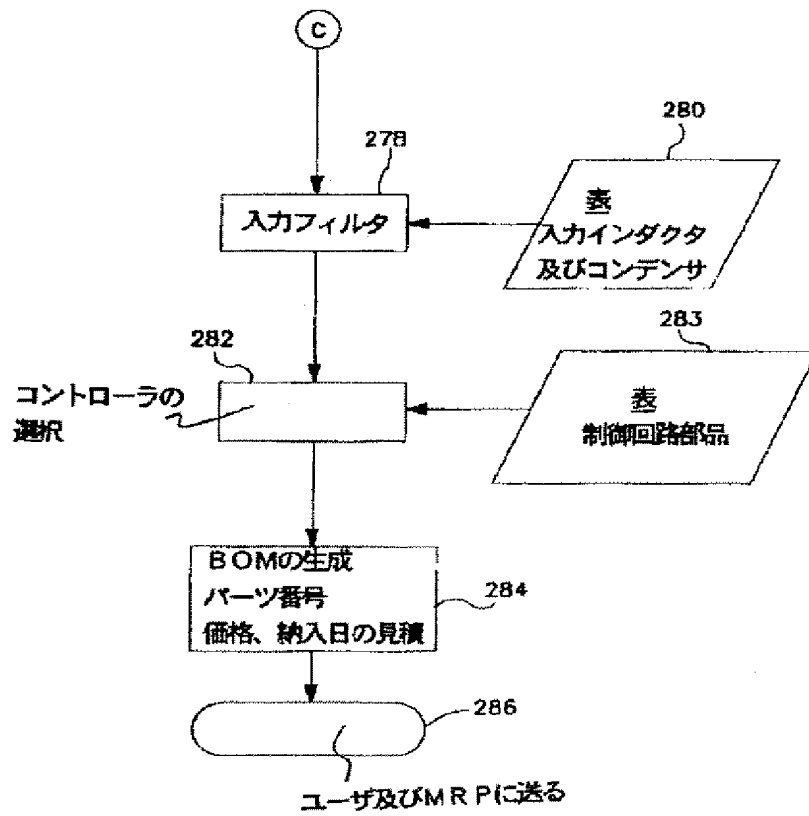
    subgraph 264d [264']
        D
    end

    subgraph 264g [264]
        G
    end

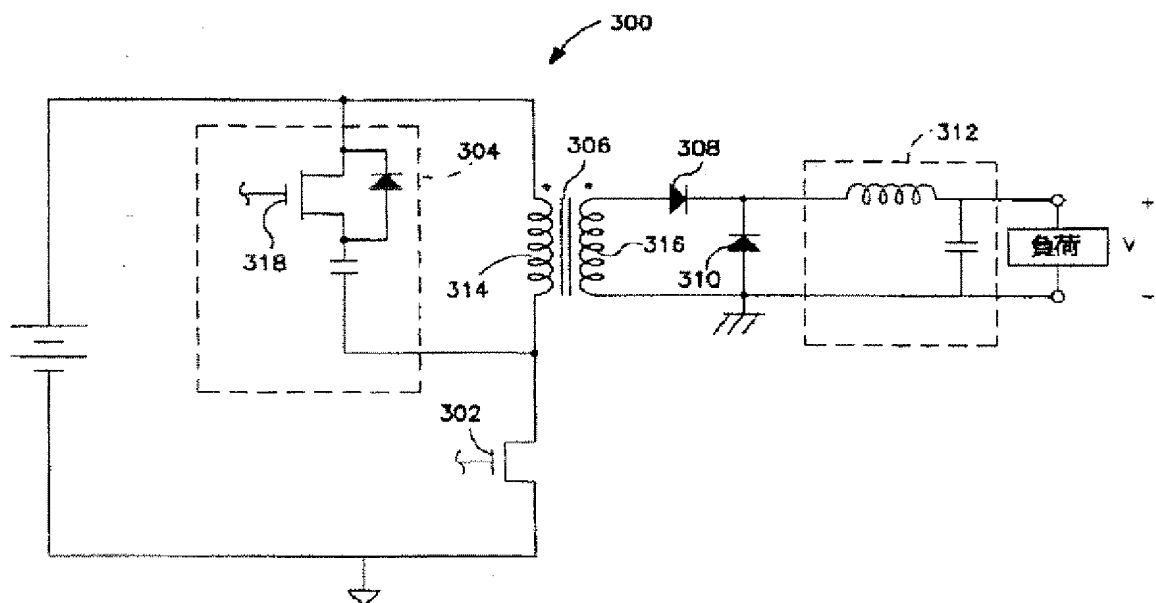
    Ton[ton >= 300ns  
<= 1000ns] --> D
    VQ1pk[VQ1, pk <= VBR, DSS] --> D
    Temp[150℃を超える接位温度を生成せしめない  
全電力消費] --> D
    MinPower[最小全電力消費に基づいたQ1の選択] --> D
    Vcreset[Vc, reset, rating >= VQ1, DS, max] --> D
    VQ1DS[VQ1, DS, max] --> D
    Vcresetrating[Vc, reset, rating >= VQ1, DS, max] --> D
    Hex1[1) Vreset, FET, RATING = VQ1, DS, max  
2) 電力消費に基づいた HEX1/2 または HEX1] --> G
    MaxPower[最大電力消費定格部品] --> G
    UserParam[ユーザパラメータ値] --> G
    UserParam --> G

    MOSFET[表 MOSFETデータ 306] --> D
    SiC[表 SiC MOSFETデータ 332] --> D
    Trans[表 駆動変圧器 310] --> D
    CoreLoss[表 変圧器のコア損失データ 180, 182] --> G
  
```


【図14】



【図17】



[illegible]

【図 16】

効率計算用設計マトリックス

リードタイム

-190

設計	可能設計値				1 方程式セットあたりに入えられる単一型品				設計基準			
	№	№	№	№	№	№	№	№	№	№	№	№
37	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
38	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
39	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
40	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
41	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
42	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
43	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
44	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
45	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
46	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
47	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
48	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
49	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
50	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
51	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
52	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
53	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
54	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
55	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
56	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
57	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
58	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
59	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
60	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
61	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
62	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
63	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
64	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
65	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
66	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
67	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
68	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
69	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
70	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
71	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
72	№(2)	№(3)	№(4)	№(5)	№(6)	№(7)	№(8)	№(9)	№(10)	№(11)	№(12)	№(13)
N	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

フロントページの続き

(72)発明者 パトリツィオ ヴィンチアレツリ
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ州
 02115 ポストン ピーコンストリート
 294